



# UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA**  
**AMBIENTAL**

“Tratamiento de aguas grises mediante el sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro en la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017.”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**  
Ingeniera Ambiental

**AUTORA:**  
Br. Jennifer Deborah Valle Coterá

**ASESOR:**  
Dr. Carlos Francisco Cabrera Carranza

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**  
Tratamiento y gestión de residuos

**Lima - Perú**

2017

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios, por permitirme alcanzar esta etapa de mi vida y por ayudarme a cumplir mis objetivos sin dejarme vencer por los obstáculos y dificultades que se presentaron en mi desarrollo profesional.

A mis padres por su apoyo incondicional, por los buenos valores, por sus consejos y por la motivación constante en cada etapa académica.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por protegerme, por darme fuerzas para seguir adelante y no rendirme.

A mi padre por el apoyo en mi carrera, y enseñarme que uno siempre debe ser perseverante en todo lo que propone.

A mi madre por su motivación, apoyo y su amor incondicional.

A mi asesor el Dr. Carlos Cabrera Carranza por su gran apoyo ofrecido en este trabajo.

## **PÁGINA DEL JURADO**



## **DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD**

Yo Jennifer Deborah Valle Coterá con DNI N° 72865692, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Lima, 05 de diciembre del 2017

---

Jennifer Deborah Valle Coterá

DNI N° 72865692

## **PRESENTACIÓN**

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada: Tratamiento de aguas grises mediante el sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro en la Urbanización Santo Domingo – Carabaylo, 2017, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniera Ambiental.

Jennifer Deborah Valle Cotera

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
PAGINA DEL JURADO.....	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	v
PRESENTACIÓN .....	vi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT .....	xiv
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Realidad Problemática .....	1
1.2. Trabajos previos.....	2
1.3. Teorías relacionadas al tema .....	11
1.3.1. Marco Teórico .....	11
1.4. Formulación del problema .....	22
1.4.1. Problema general .....	22
1.4.2. Problemas específicos.....	22
1.5. Justificación del estudio .....	23
1.6. Hipótesis .....	23
1.6.1. Hipótesis general .....	23
1.6.2. Hipótesis específicas.....	23
1.7. Objetivos.....	24
1.7.1. Objetivo general .....	24
1.7.2. Objetivos específicos.....	24
II. MÉTODO .....	24

2.1.	Diseño, Tipo y Nivel de investigación .....	24
2.2.	Ubicación del estudio.....	25
2.3.	Diseño del Sistema.....	25
2.3.1.	Materiales .....	25
2.3.2.	Humedal artificial .....	25
2.3.3.	Lombrifiltro .....	27
2.3.4.	Testigo .....	27
2.4.	Procedimiento del sistema .....	28
2.5.	Toma de muestras .....	28
2.6.	Variables, operacionalización .....	30
2.6.1.	Operacionalización de variables: Se aplica en la siguiente tabla: .....	30
2.7.	Población y muestra.....	32
2.8.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	32
2.8.1.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	32
2.8.2.	Procedimiento en Laboratorio.....	33
2.8.2.1.	pH y Temperatura .....	33
2.8.2.2.	Turbiedad .....	34
2.8.2.3.	Oxígeno Disuelto .....	34
2.8.2.4.	Demanda Química de Oxígeno.....	35
2.8.2.5.	Demanda Bioquímica de Oxígeno .....	36
2.8.2.6.	Sólidos suspendidos Totales .....	38
2.8.3.	Validez y confiabilidad .....	39
2.8.3.1.	Validez.....	39
2.9.	Métodos de análisis de datos.....	40
2.10.	Aspectos éticos.....	40
III.	RESULTADOS .....	41

3.1. Resultados de las propiedades fisicoquímicas del agua de entrada y salida del Sistema.....	41
3.1.1. Turbiedad.....	41
3.1.2. Sólidos Suspendidos Totales (SST).....	42
3.1.3. Demanda química de oxígeno (DQO) .....	43
3.1.4. Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5) .....	44
3.2. Porcentaje de remoción.....	45
3.2.1. Porcentaje de remoción de turbiedad.....	45
3.2.2. Porcentaje de remoción de SST .....	46
3.2.3. Porcentaje de remoción de DQO .....	47
3.2.4. Porcentaje de remoción de DBO5 .....	48
3.3. Comparación de los resultados de cada parámetro con el LMP .....	48
3.3.1. Resultados de Turbiedad y LMP .....	49
3.3.2. Resultados de SST y LMP .....	50
3.3.3. Resultados de DQO y LMP .....	51
3.3.4. Resultados de DBO5 y LMP .....	52
3.4. Prueba de normalidad por cada parámetro.....	53
3.4.1. Prueba de normalidad para Turbiedad.....	53
3.4.2. Prueba de normalidad para Solidos suspendidos Totales.....	56
3.4.3. Prueba de normalidad para la Demanda química de oxigeno .....	59
3.4.4. Prueba de normalidad para la Demanda bioquímica de oxigeno .....	62
3.5. Prueba de hipótesis .....	65
3.5.1. Prueba de T – student para Turbiedad .....	66
3.5.2. Prueba de T – student para Solidos suspendidos Totales .....	67
3.5.3. Prueba T – student para la Demanda Química de Oxigeno.....	68
3.5.4. Prueba T – student para la Demanda Bioquímica de Oxigeno.....	69
IV. DISCUSIÓN .....	70

V. CONCLUSIÓN .....	72
VI. RECOMENDACIONES .....	73
VII. REFERENCIAS .....	74
ANEXOS .....	81

<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>Pág.</b>
Tabla N° 1: Ventajas y desventajas del Humedal artificial para aguas grises.....	14
Tabla N° 2: Rendimiento de depuración de humedal subsuperficial .....	14
Tabla N° 3:Características del material de sustrato .....	16
Tabla N° 4: Longitud promedio de las raíces .....	16
Tabla N° 5: Modelos matemáticos para diseño de humedales artificiales .....	17
Tabla N° 6: Porcentaje de remoción de diferentes especies de lombrices. ....	20
Tabla N° 7:Índices de eficiencia del lombrifiltro .....	20
Tabla N° 8: Límites Máximos Permisibles .....	21
Tabla N° 9:Parámetros de diseño del Humedal.....	25
Tabla N° 10: Cálculos Matemáticos y resultados.....	26
Tabla N° 11: Cuadro de operacionalización de las variables .....	31
Tabla N° 12: Técnicas e instrumentos de validación. ....	32
Tabla N° 13: Relación de dilución DQO y DBO .....	37
Tabla N° 14: Estadística de fiabilidad (Alfa de Cronbach).....	40

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>Pág.</b>
Figura N° 1: Fuentes de aguas grises .....	11
Figura N° 2: Plantas acuáticas comunes.....	13
Figura N° 3: Formación de biomenbranas.....	13
Figura N° 4: Humedal de flujo horizontal .....	15
Figura N° 5: Humedal con flujo vertical .....	15
Figura N° 6: Esquema del lombrifiltro .....	19
Figura N° 7: Jacinto de agua “ <i>Eichhornia Crassipes</i> ” .....	26
Figura N° 8: Humedal con la especie <i>Eichhornia Crassipes</i> .....	27
Figura N° 9: Lechos filtrantes del Lombrifiltro.....	27
Figura N° 10: Humedal sin planta y biofiltro sin lombrices .....	28
Figura N° 11: Vista en planta del sistema .....	28
Figura N° 12: Toma de muestras.....	29
Figura N° 13: Muestra rotuladas en el cooler y listas para llevar a laboratorio. ....	29
Figura N° 14: Muestra identificada con la numeración.....	33

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Pág.

Gráfico N° 1: Turbiedad (UNT) vs cada fecha de muestreo .....	41
Gráfico N° 2: SST (mg/L) vs cada fecha de muestreo .....	42
Gráfico N° 3:DQO (mg/L) vs cada fecha de muestreo .....	43
Gráfico N° 4:DBO5 (mg/L) vs cada fecha de muestreo.....	44
Gráfico N° 5:Porcentaje de remoción del SAHL vs Testigo.....	45
Gráfico N° 6:Porcentaje de remoción del SAHL vs Testigo.....	46
Gráfico N° 7: Porcentaje de remoción del SAHL vs Testigo.....	47
Gráfico N° 8:Porcentaje de remoción del SAHL vs Testigo.....	48
Gráfico N° 9:Concentración de Turbiedad vs OMS.....	49
Gráfico N° 10: Concentración de SST vs LMP.....	50
Gráfico N° 11: Concentración de DQO vs LMP.....	51
Gráfico N° 12: Concentración de DBO5 vs LMP .....	52
Gráfico N° 13: Grafica de normalidad del Afluente para el parámetro Turbiedad. ....	53
Gráfico N° 14: Grafica de normalidad del Efluente para el parámetro Turbiedad.....	54
Gráfico N° 15: Grafica de normalidad del Testigo para el parámetro Turbiedad. ....	55
Gráfico N° 16: Grafica de normalidad del Afluente para el parámetro SST.....	56
Gráfico N° 17: Grafica de normalidad del Efluente para el parámetro SST. ....	57
Gráfico N° 18: Grafica de normalidad del Testigo para el parámetro SST.....	58
Gráfico N° 19: Grafica de normalidad del Afluente para el parámetro DQO.....	59
Gráfico N° 20: Grafica de normalidad del Efluente para el parámetro DQO. ....	60
Gráfico N° 21: Grafica de normalidad del Testigo para el parámetro DQO.....	61
Gráfico N° 22: Grafica de normalidad del Afluente para el parámetro DBO5. ....	62
Gráfico N° 23: Grafica de normalidad del Efluente para el parámetro DBO5.....	63
Gráfico N° 24: Grafica de normalidad del Efluente para el parámetro DBO5.....	64



## RESUMEN

El presente trabajo tiene el objetivo de determinar la eficiencia del Sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro (SAHL) en el tratamiento de las aguas grises. El caudal que ingrese al sistema será de 0.015 m<sup>3</sup>/día; el diseño del humedal fue del tipo subsuperficial de flujo horizontal con las dimensiones de 80 cm de largo y 26 cm de ancho con 30 cm de profundidad, para el relleno se usara grava de 16 mm, 1 kg de arena fina y 6 plantas de la especie *Eichhornia Crassipes*; para el diseño del lombrifiltro se tuvo las siguientes dimensiones: 30 cm de largo, 30 cm de ancho y 15 cm de profundidad, contara con 4 lechos filtrantes, el primero cama contendrá 200 lombrices de la especie *Eisenia foetida* con 5 cm de humus, la segunda cama de 10 cm de aserrín y viruta, la tercera cama de 5 cm de grava de 0.2 cm de diámetro; y la última cama de 5 cm es de piedras de rio de 0.4 cm de diámetro. Se realizaron un total de 3 muestreos los parámetros a evaluar son el DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, Turbiedad. Como resultados de la eficiencia de remoción de contaminantes fue del 74% de Turbiedad, 91% de Solidos suspendidos totales, 36% de Demanda química de oxígeno y 28% de la Demanda bioquímica de oxígeno. Se concluyó finalmente que el SAHL tiene mayor eficiencia de remoción en la Turbiedad y Solidos suspendidos Totales y menor en los parámetros de Demanda bioquímica de oxígeno y Demanda química de oxígeno

**Palabras claves:** Humedal artificial, lombrifiltro, parámetros, tratamiento aguas grises.

## ABSTRACT

The present work has the objective of determining the efficiency of the coupled system of artificial wetland and vermicomell (SAHL) in the treatment of gray water. The flow that enters the system will be 0.015 m<sup>3</sup> / day; The wetland design was of the horizontal flow subsurface type with the dimensions of 80 cm long, 26 cm wide and 30 cm deep, for the filling 16 mm gravel, 1 kg of fine sand and 6 plants of the *Eichhornia Crassipes* species; for the design of the lombrifiltro the following dimensions were taken: 30 cm long, 30 cm wide and 15 cm deep, it will have 4 filter beds, the first bed will contain 200 worms of the species *Eisenia Foetida* with 5 cm of humus, the second bed of 10 cm of sawdust and shavings, the third bed of 5 cm of gravel of 0.2 cm in diameter; and the last bed of 5 cm is of river stones of 0.4 cm in diameter. A total of 3 samplings were carried out. The parameters to be evaluated are BOD<sub>5</sub>, COD, SST, Turbidity. As a result of the removal efficiency of pollutants, it was 74% of Turbidity, 91% of Total suspended solids, 36% of Chemical oxygen demand and 28% of the biochemical oxygen demand. It was finally concluded that the SAHL has greater removal efficiency in Turbidity and Total Suspended Solids and lower in the parameters of chemical demand for oxygen and biochemical oxygen demand.

**Keywords:** *Artificial wetland, lombrifiltro, parameters, gray water treatment.*

## **I. INTRODUCCIÓN**

En la actualidad a nivel mundial la contaminación del agua es un problema primordial el cual genera riesgos a la salud de las personas, plantas y animales. Esta contaminación se origina principalmente por la actividad antropogénica entre las cuales se encuentran la agricultura, minería, industriales, producción, la actividad doméstica, entre otros, que por lo general las aguas residuales que se producen muchas veces son vertidas a los cuerpos de agua sin previo tratamiento lo que generaría la contaminación de esta.

En la actividad doméstica se generan aguas negras que provienen del inodoro que contienen desechos humanos y las aguas grises que provienen del uso de la lavadora, el lavado de los platos, del agua usada para el aseo del hogar, estas aguas residuales son normalmente eliminadas por el sistema de alcantarillado, lo que termina siendo efluentes en ríos y océanos. (Asenjo, 2015).

Por lo tanto, la presente investigación propone una alternativa para la depuración de las aguas grises que incluye dos tipos de sistemas de depuración biológica que son el humedal artificial y el lombrifiltro. El humedal artificial funciona como los humedales naturales, el cual reúne características biológicas, químicas y físicas con un elevado potencial auto depurador (Llagas, 2006), y para complementar el sistema se usará el lombrifiltro que utiliza lombrices y otros microorganismos, que se encargaran de absorber y digerir la materia orgánica sobrante en su totalidad.

Esta investigación tiene como objetivo general determinar la eficiencia del sistema en el tratamiento de las aguas grises que provienen de la actividad doméstica, tomando como ubicación una vivienda del distrito de Carabayllo.

### **1.1. Realidad Problemática**

El agua es un recurso necesario para la vida del ser humano pero no todos cuentan con este recurso ya que como lo señala la Organización Mundial de la Salud (OMS) existen 4.500 personas entre niños y niñas que mueren todos los días por no contar con agua potable y con instalaciones básicas de saneamiento, por lo tanto mientras que en medida que la población va creciendo en el mundo, se necesitara mayor cantidad de agua para poder solventar las necesidades básicas de millones de familias, sabiendo aun así que en el mundo sólo el 2.5% del agua es potable, lo que generaría una gran crisis mundial.

En el Perú se cuenta con el 1.89% de agua dulce del mundo (ANA, 2014), pero aun así existen 8 millones de personas que no cuentan con servicio de agua potable y alcantarillado (SUNASS, 2017). A pesar de eso la mayoría de las personas que si tienen acceso a este recurso la desperdician y tienen malos hábitos en el cuidado del agua. Por ejemplo, según Sedapal los distritos en Lima que más agua consume es el de San Isidro con un valor de 447. 5 litros por persona al día y el distrito con menor consumo es Chosica con 15.2 litros, y Carabayllo que es el distrito que está dentro del ámbito de la investigación tiene un consumo de 77 litros por persona al día.

En el hogar, el artefacto electrodoméstico que más agua utiliza es la lavadora con un promedio de 60 a 90 litros de agua, así como también los lavamanos y otros grifos de la vivienda que consumen más de 12 litros por minuto. Estas aguas son llamadas también “aguas grises o jabonosas” las cuales se producen principalmente de las actividades habituales de aseo personal y del hogar, estas aguas muchas veces no se reutilizan y se descargan al sistema de alcantarillado, este tipo de agua puede generar contaminación del medio y mal olor, aunque no son tan peligrosas como las aguas llamadas negras las cuales se generan en los inodoros. (Ecotec, s.f.)

## **1.2. Trabajos previos**

En el tema de humedal artificial:

GALLEGO, L. y LASSOVSKY, A. (s.f.) en su investigación “Humedal de tratamiento en flotación (HTF) con mayor cantidad de biofilm y mejor canalización hidráulica”, llevada a cabo en la ciudad de Sevilla – España; los autores exponen que:

El objetivo de la investigación es comprobar la efectividad del sistema de anclaje de macrófitas en flotación y las mejoras en el rendimiento que se van a obtener al usar las cortinas biológicas e hidráulicas. El agua residual urbana utilizado pasa primero por diferentes sistemas de pretratamiento, los cuales son el tornillo tamiz, desarenador, desengrasado y una arqueta de homogenización; posteriormente pasa al humedal el cual está constituido de plataformas de flotación con macrófitas de la especie *Typha latifolia* y además un travesaño con cortina hidráulica en cada uno de los tanques. El sistema ha estado trabajando con caudal de 17m<sup>3</sup>/día y un tiempo de retención de 7 días, además se ha medido diferentes parámetros: DBO, DQO, SS y Nitrógeno total. Como resultados iniciales en un tiempo de 40 días se obtuvo que la remoción fue de DBO (68%), DQO

(60%) y SS (40%) y N total casi un 80%. Concluyendo finalmente que el sistema es capaz de cumplir parámetros de vertido a los 5 meses de su implantación a pesar de que las plantas y sus raíces aún no han desarrollado en su totalidad, lo que indica que las cortinas hidráulicas y biológicas potencian la actividad de los microorganismos. Este sistema consigue eliminar nitrógeno, sólidos en suspensión y sólidos sedimentables eficientemente.

VALDERRAMA, L. (1996) en su investigación “Uso de dos especies de macrófitas acuáticas *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia Crassipes* para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales”, publicada en la revista Universitas Scientiarum de la Facultad de Ciencias de la Pontificia Universidad Javeriana en la ciudad de Bogotá – Colombia; el autor expone que:

La investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de dos macrófitas acuáticas, *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia Crassipes*, para remover la materia orgánica, sólidos suspendidos y coliformes totales y fecales del agua residual de una agroindustria. El efluente utilizado proviene de la laguna de oxidación de una agroindustria que reciben residuos líquidos de una industria láctea y el estiércol de un criadero de porcinos, los cuales son tratados por separado en un sistema DAF para remover grasas y un foso estercolero. Para el estudio se utilizaron dos tinas de 36 litros de capacidad y con 20 cm de profundidad en el cual se sembraron las dos especies respectivamente. Los parámetros evaluados fueron DBO soluble, DQO, pH, SST, coliformes totales y fecales de *Tarruella*. Los resultados promedio de remoción con la especie *Limnobium laevigatum* fueron de DBO 76%, DQO 26%, SST 70%, Coliformes Totales 68%, y con la especie *Eichhornia Crassipes* fue de DBO 53%, DQO 18%, SST 56%, Coliformes Totales 22%. En conclusión, la especie *Limnobium laevigatum* presentó mayor porcentaje de remoción para aguas residuales de tipo agroindustrial.

CABALLERO, J. y OSORIO, R. (2016) en su tesis “Tratamiento de aguas residuales usando *Rhizophora Mangle* (Mangle Rojo) para la remoción de nutrientes y materia orgánica en un Humedal artificial de flujo vertical”, con motivo de optar por el Título de Ingeniero Civil, de la Universidad de Cartagena en la ciudad de Cartagena de Indias – Colombia; los autores exponen que:

El objetivo de la investigación fue cuantificar la capacidad depuradora del *Rhizophora Mangle* (Mangle Rojo) para su uso en el humedal artificial para tratar aguas residuales del

campus. El sistema de tratamiento estuvo conformado por un tanque de almacenamiento, un tanque séptico y tres celdas de tratamiento una sin vegetación para su uso como testigo); el sustrato del humedal contenía una capa de triturado de 1 1/2'', otra capa de 1'', abono y tierra negra. Los parámetros para evaluar fueron el DBO5, fosforo total, nitrógeno total, coliformes fecales y coliformes totales por un periodo de 4 semanas. Como resultado se obtuvo eficiencia de remoción de DBO5 90%, fosforo total 70 %, nitrógeno total 90%, coliformes fecales 99% y coliformes totales 99%, concluyendo que el mangle rojo es favorable en este tipo de sistemas.

MENA, P. (2014) en su tesis “Evaluación de la eficiencia de tratamiento de aguas residuales domésticas, implementando un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HAFSSH) en el Colegio Con familiar Siglo XXI, sede Campestre Corregimiento de San Fernando, Municipio de Pasto, Colombia”, con motivo de optar por el Título de Magíster de la Universidad de Buenos Aires en Ciencias Ambientales; el autor expone que:

Su investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas, con la construcción de humedales artificiales del tipo de flujo subsuperficial horizontal. El sistema estuvo compuesto por una trampa de grasas, un tanque séptico, un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA), y el humedal artificial. Los parámetros utilizados fueron aceites y grasas, DQO, DBO5, SST, N, P, Escherichia Coli y coliformes totales. Como resultados se obtuvo un porcentaje de remoción de DQO 84.98%, DBO5 93.89, SST 40, coliformes totales 99.99% y Echerichia Coli 99.97%; en los parámetros de N y aceites y grasas no presento remoción debido a que al ingreso al humedal ya se habían tratado. Se concluye que el agua tratada puede ser reutilizada para uso agrícola o se puede descargar directamente a los cuerpos de agua.

GARCÍA, Z. (2012) en su tesis “Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domesticas”, con motivo de optar por el Título de Ingeniero Sanitario de la Facultad de Ingeniería Ambiental en la Universidad Nacional de Ingeniería en la ciudad de Lima - Perú; el autor expone que:

La investigación presenta un estudio comparativo de la capacidad que tienen las plantas acuáticas flotantes *Eichhornia Crassipes*, *Azolla filiculoides* y *Lemna minor* en la

depuración de las aguas residuales. Antes del desarrollo de la investigación se evaluó la planta acuática *Azolla filiculoides* plantado en el efluente de la PTAR – Suderburgo. La primera fase del desarrollo de la investigación se utilizó plantas acuáticas en monocultivo con *Lemna minor* y *Eichhornia Crassipes* con el efluente de las PTAR – CITRAR, además se usó un testigo (sin plantas). En la segunda fase se distribuyó con flujo lento el efluente que atravesó los estanques donde se encuentran las plantas cultivadas. Los resultados en la capacidad de remoción con la especie Lemna Minor son las siguientes: Turbiedad 72%, Oxígeno Disuelto 24% y DBO5 26.7% (2.5 días) y el Jacinto de agua tuvo los resultados siguientes: Turbiedad 65%, Oxígeno disuelto 73% y DBO5 52% al 86% (5 días).

TITO, R. (2015) en su tesis “Tratamiento de aguas residuales grises domesticas con la especie Paraguitas *Cyperus alternifolius* en Humedales artificiales, Urbanización Zárate – San Juan de Lurigancho 2015”, con motivo de optar por el Título de Ingeniero Ambiental de la Facultad de Ingeniería Ambiental en la Universidad César Vallejo en la ciudad de Lima - Perú; el autor expone que:

Su investigación tuvo como objetivo evaluar los humedales artificiales con la especie *Cyperus alternifolius* para tratar las aguas residuales grises domésticas de la Urbanización de Zárate – San Juan de Lurigancho. El modelo de humedal utilizado es el subsuperficial de flujo horizontal, se construyó dos humedales uno con la planta acuática y el otro sin la planta para su uso como testigo; se tomaron 6 muestras para medir los siguientes parámetros: DQO, DBO5, SST, Turbiedad. Como resultado se obtuvo un porcentaje de remoción de DQO 76.85%, DBO5 72.84%, SST 79.68%, Turbiedad 97.66%, de las cuales el DQO, SST y turbiedad cumplen con la normativa vigente. Se concluyó que el este sistema biológico es efectivo para tratar las aguas residuales grises.

MINCHOLA, J. y Gonzales, F. (2013), en su publicación “Humedales artificiales en el tratamiento de las aguas residuales domésticas Barrick” en su revista Arnaldoa 20; exponen lo siguiente:

Esta investigación tiene como objetivo evaluar la capacidad y la posibilidad del uso de un humedal artificial para tratar las aguas residuales domesticas provenientes de la minera Barrick. La concentración que se van a evaluar son pH, DBO5, SST, Temperatura, Oxígeno disuelto, Coliformes fecales y Coliformes Totales, teniendo en cuenta el tiempo de retención hidráulica (días) que fue en este caso de 10 días. Además, se determinará el

porcentaje de remoción de los parámetros ya antes mencionados. Como resultados se obtuvo que la eficiencia de remoción fue la siguiente: SST 84%, DBO5 (73%), Coliformes Totales (86%), Coliformes fecales (93%), y de oxígeno disuelto aumento en un 18.73%. Se concluyó que los humedales artificiales son efectivos en el incremento de oxígeno disuelto y en la remoción de contaminantes.

TORRES, J., Magno, J. y Pineda, R. (2015), en su tesis “Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante Humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis*, en Carapongo – Lurigancho, de la Universidad Peruana Unión, Lima; exponen lo siguiente:

El objetivo de la investigación fue determinar la eficiencia de las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis* para tratar las aguas residuales utilizando humedales artificiales a escala piloto de flujo libre superficial (FLS) en las aguas para riego de Carapongo. Los cálculos para determinar las dimensiones y tiempo de retención hidráulica del Humedal Artificial se llevó a cabo de acuerdo con los criterios de diseño propuestos por Crites y Tchobanoglous, las cuales dieron como resultado un área de 1.84m<sup>2</sup>, 0.60 m de largo, 0.40 m de ancho, 0.30 m de profundidad y un tiempo de retención hidráulica de 2 días. Los parámetros que se midieron son DBO, Coliformes totales Coliformes Termotolerantes, pH, Temperatura y Turbidez; y los resultados obtenidos se compararan con el ECA para agua Categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales. Se concluyó que este sistema fue eficiente en un aproximado de 80 a 89% de remoción de los parámetros microbiológicos y de DBO, en los que es eficiencia de especie, *Cyperus Papyrus* tuvo mayor remoción en los parámetros DBO y turbidez, mientras que *Phragmites Australis* tuvo mayor eficiencia en la remoción Coliformes totales y Coliformes Termotolerantes.

VILLARROEL, C (2005), en su trabajo de investigación titulado “Tratamiento del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales el Cortijo para uso agrícola con Humedales contruidos de flujo superficial”, con motivo de presentación en el XXI Congreso Interamericano de Ingeniería Química – Abril 2005, de la Universidad de Trujillo; el autor expone que:

Su investigación tuvo como objetivo analizar el potencial y la viabilidad del uso de humedales de flujo superficial para tratar efluentes de PTAR El Cortijo con el uso de las



especies nativas *Scirpus Colifornicus* (tatora) y *Typha angustifolia* (tifa o inea). El diseño del humedal se hizo de acuerdo con los criterios propuestos por Crites y Tchobanoglous adecuándolo a las condiciones climáticas de la zona, dando como dimensiones 1,50m de largo, 0,75m de ancho y 0,46m de profundidad, el material de relleno que se uso fue grava de 1 y 1.5 pulgadas de diámetro con una altura de 12 cm, como vegetación se usó la especie nativa *Typha angustifolia* “tifa”. Los parámetros por evaluar son DBO5, SST, Cromo total, pH, Temperatura, Oxígeno disuelto, coliformes fecales y coliformes totales. Como resultados del tratamiento se obtuvo que las concentraciones finales son 6.88 mg/l de DBO5, 40 mg/l de SST, 230 NMP/100 ml de coliformes fecales y 1.083 mg/l de cromo total, y se tuvo una eficiencia de remoción de 92,49 % de DBO5, 83,33 % de SST, 99,999 % de coliformes fecales, 99,998 % de coliformes totales y 76,52 % de cromo total; concluyendo que el humedal artificial es eficiente en el tratamiento de efluentes del PTAR El Cortijo.

BRAVO, F. (2016) en su tesis “Remoción de nutrientes con *Eichhornia Crassipes* para reducir la eutrofización en el humedal del Parque Ecológico Municipal Laguna El Mirador en Ventanilla – Callao 2016”, con motivo de optar por el Título de Ingeniero Ambiental de la Facultad de Ingeniería Ambiental en la Universidad César Vallejo en la ciudad de Lima - Perú; el autor expone que:

El objetivo de su investigación fue determinar la eficiencia de la especie *Eichhornia Crassipes* en la reducción de la eutrofización en el humedal del Parque Ecológico Municipal Laguna El Mirador de Ventanilla, y el agua tratada compararlo finalmente con el ECA utilizando los siguientes parámetros: SST, DBO, OD, pH, Nitratos y Fosfatos. En primer lugar se comenzó con un pre test el cual consiste en realizar un análisis del agua antes de colocar las plantas, posteriormente el procedimiento experimental se realizara bajo 2 condiciones, la primera fue in situ en el cual se colocaron las plantas en 4 puntos de todo el humedal por un tiempo de 2 semanas para luego realizar el análisis; la segunda condición se llevara a cabo en laboratorio en el cual se modelara un sistema de tratamiento similar utilizando la misma especie por un tiempo de 1 semana para luego realizar el análisis; y comparar estas dos condiciones con los resultados del análisis del pre test para así poder medir la capacidad de remoción de la especie. Como resultados se obtuvo que se obtuvo un rango de eficiencia de remoción de: OD (45.89% a 68.10%), DBO (25.33% a 90.92%), SST (64.72% a 86.04%), Nitratos (32.02% a 64.32%) y Fosfatos (39.20% a

77.57%), comparando con el ECA se determinó que todos los parámetros cumplieron con la norma excepto el del fosfato el cual estuvo por encima de los estándares. Por lo tanto, se concluyó que la especie *Eichhornia Crassipes* es eficiente en la reducción de la eutrofización en cuerpos de agua.

Para el método del lombrifiltro o Sistema Tohá se encontraron investigaciones en el ámbito internacional:

MANRIQUE, E. y PIÑEROS, J. (2016) en su tesis “Evaluación del sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) en aguas residuales procedentes de industrias lácteas a nivel laboratorio”, con motivo de optar por el Título de Ingeniero Químico, de la Universidad de América en la ciudad de Bogotá – Colombia; los autores exponen que:

El objetivo de la investigación fue determinar el proceso de tratamiento biológico con lombrices de la especie *Eisenia foetida* a escala laboratorio para aguas residuales que se generan en las industrias lácteas. Para poder evaluar si el sistema es factible, por lo tanto, se comparó el tratamiento de depuración biológica llamada lombrifiltro que utiliza lombrices, con un geofiltro el cual no los utiliza. Como procedimiento inicial se señalaron los parámetros para el diseño de los filtros: Del lombrifiltro fue hecho en vidrio teniendo un área de 20 cm de largo y 25 cm de ancho, este estuvo comprendido por cuatro lechos filtrantes teniendo una proporción de 1:2:1:1, en la primera capa se utilizó 5 cm de aserrín en combinación con 150 lombrices de tierra de la especie *Eisenia foetida* con una proporción de 3:1, la segunda capa fue de 10 cm de antracita con un diámetro de 0.2 cm , la tercera capa fue de 5 cm de grava con un diámetro de 0.4 cm y la capa final fue de 5 cm de piedra de río con un diámetro de 0.7 cm; el geofiltro fue construido similar al lombrifiltro, con la diferencia de que este en su primera capa no contiene lombrices . El agua residual para la aplicación en el tratamiento se obtuvo de la empresa Lácteos Pasco, el cual fue de 750L/ semana, que fueron agregados al tanque de alimentación que tuvo un caudal de 0.075 L/min. Los parámetros por evaluar son aceites y grasas, pH, DBO, DQO, SSSED y SST. Como resultados se obtuvo que el porcentaje de remoción en DQO fue de 79.56%, siendo como máximo valor al cabo de 21 días de iniciada la experimentación y del geofiltro fue de 55.18% a los 7 días; luego de esto ya no hubo mayor remoción ya que se observó arrastre de sustrato hacia el efluente perjudicando el resultado. Con respecto al DBO no hubo reducción alguna y con los SSSED no se realizó ya que en el primer análisis

ya cumplieran con la norma utilizada. De acuerdo con estas medidas se hizo a escala real un dimensionamiento en el que se necesita de un área de 27m<sup>2</sup>, con una altura de 1.28 m y un tiempo de retención de 10h 18 min; con un costo total del montaje de este sistema de \$ 42.761.655.

VICENTE (2016) en su publicación “Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales”, de la Revista Enfoque UTE; expone que:

Esta investigación se centra en el tipo de empaque que se va a utilizar en los filtros para poder determinar con cual es más eficiente el biofiltro en la remoción de contaminantes. Por lo tanto, en el primer biofiltro se empleó como empaque el aserrín y la viruta, y en el segundo biofiltro se utilizó la fibra de coco. El proceso de experimentación inicio con la toma de la muestra del agua residual doméstica y después introducirla en el tanque homogenizador, para luego pasar al tanque sedimentador para la retención de los sólidos u otros materiales que pueden perjudicar el funcionamiento adecuado del biofiltro, para posteriormente pasar al biofiltro. El periodo de tratamiento fue 90 min cada uno y al finalizar el tratamiento se realizó los muestreos, se tomaron como parámetros la T°, pH, SST, ST, coliformes fecales, aceites y grasas, DQO, DBO y hierro. Como resultados de los parámetros de la muestra inicial del agua residual doméstica se determinó que alcanzo valores fuera de la norma ambiental, lo que justificaría que se requiere de un tratamiento. Y los resultados después de aplicado el tratamiento se obtuvo que el primer biofiltro (empaque de aserrín con viruta) alcanzo los valores fuera de la norma ambiental y tuvo un porcentaje de remoción de contaminantes del 53.53%; en cambio en el segundo biofiltro (empaque de fibra de coco) los parámetros que fueron medidos estuvieron dentro de la normativa ambiental y tuvo un porcentaje de remoción de contaminantes de un 82.37%, siendo la fibra de coco el más efectivo para la remoción de contaminantes que se encuentran en las aguas residuales domésticas.

RAMÓN, LEÓN y CASTILLO (2015), en su investigación titulada “Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie *Eisenia foetida*”, en la Revista Mutis; expone que:

Su investigación tuvo como objetivo el diseño y la construcción un sistema para tratar las aguas residuales de la ciudad de Pamplona usando el sistema de tratamiento Tohá, en el

cual se consideran una serie de etapas que permita la depuración de las aguas servidas luego de haber sido utilizado con fines comerciales, industriales o domésticos, para así poder ser regresadas a las aguas superficiales. Este sistema Tohá incluye como primer lugar el aserrín con la lombriz de tierra (dos lechos), seguida de un estrato de carbón activado y otro estrato de grava de piedra, lo cual va a permitir oxigenar a partir del goteo que existe entre los estratos. Por último, tenemos un estrato de piedra de gran tamaño y también un decantador para poder analizar las muestras. Como resultado se obtuvo que la carga orgánica del afluente era demasiado alta en comparación con la del efluente, obteniendo una eficiencia remoción del 92.06% de la carga orgánica en el sistema Tohá.

CORONEL (2015), en su tesis “Diseño e implementación a escala de un biofiltro Tohá en la Spoch para la depuración de aguas residuales domesticas procedentes de la comunidad Langos La Nube”, para optar por el título de Ingeniería en Biotecnología Ambiental en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo de la ciudad de Riobamba-Ecuador; expone que:

Su objetivo fue de diseñar e implementar a escala laboratorio un Biofiltro Toha para la limpieza de aguas residuales domesticas de la Comunidad Langos La Nube. Por lo tanto, se implementó el biofiltro en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo a escala piloto, utilizando las residuales domesticas de la comunidad. Este biofiltro estuvo compuesto por un tambor homogenizador en el cual se moverá el agua residual para que los residuos no se sedimenten, un sistema de impulsión (bombeo), un sistema de aspersión por donde pasara el agua residual, un tanque de biofiltración, una trampa de lombrices que no dejara pasar las lombrices al posterior sistema y no lo afecten, y un tanque de almacenamiento donde se desinfectara el agua tratada. El tanque de biofiltración estará relleno con capas de piedra bola y grava (30%) y aserrín viruta y humus (70%). Antes de introducir el sustrato humus, se realizó la adaptación de la lombriz de la especie *Eisenia foetida* al agua residual doméstica por un tiempo de 7 días con una capacidad de filtración de 12 litros por día. Como metodología se realizó tres tratamientos en un periodo de tres semanas y los parámetros a evaluar que se utilizaron antes y después del tratamiento fueron de conductividad, pH, amonios, turbiedad, DBO5, DQO, nitratos, fosfatos y SDT; obteniendo como resultado que en la primera semana solo hubo remoción de DBO5 pero en la tercera semana se obtuvo mayor eficiencia, obteniendo porcentajes de remoción de turbiedad en un 77.69%, amonios 68.24%, DBO5 84.38%, DQO 51.69%, SDT 22.96%, fosfatos

73.47%, y nitratos 80%, aumento el pH de 0.06unid y una reducción de conductividad de 480usiems/cm. Concluyó que no se producen lodos y de fácil manejo y recomienda implementar una capa de carbón activado para la mayor reducción de SDT, y utilizar aserrín de pino o álamo para mejor el color del agua tratada.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

#### **1.3.1. Marco Teórico**

##### **1.3.1.1. Aguas grises**

Las aguas grises están compuestas fosfatos, nitratos, partículas de alimentos, materia orgánica, bacterias, espumas, jabones, sal, sólidos suspendidos, perfumes y colorantes. Son producidos de la lavadora, lavamanos y de otros usos domésticos. Por lo tanto, si estas aguas son vertidas sin previo tratamiento pueden generar impactos perjudiciales al medio ambiente debido a la carga orgánica, bacterias y patógenos que tiene en su composición. Algunos nutrientes como fosforo y nitrógeno se pueden aprovechar como alimento para el crecimiento de las plantas. Estas aguas grises se generan principalmente de nuestros hogares, escuelas y cualquier lugar donde se utilice el agua con fines de limpieza. (CONICYT, s.f.)



**Figura N° 1:** Fuentes de aguas grises

Franco, 2007, pag.7.

En diferentes países han realizado estudios sobre cuanto porcentaje de aguas grises hay en las aguas servidas domésticas, concluyendo que se encuentra un 50 y 80%. (Franco, 2007)

Para uso de las aguas grises para riego, las plantas más adecuadas son las grandes (árboles, arbustos, etc.) que las plantas pequeñas, ya que estas aguantan las fluctuaciones en la cantidad de agua que las pequeñas. Las plantas que no se pueden regar con aguas grises son las hortalizas de raíz comestible, ya que generan riesgos para la salud. (Allen, 2015)

#### **1.3.1.1.1. Efectos en el medio ambiente por las aguas grises**

Entre los efectos positivos del uso de aguas grises en otras actividades es que habría mayor ahorro del agua potable y si reciben tratamiento previo estas actuarían como fertilizante en riego ya que aportaría nutrientes a las plantas y el suelo como fósforo, nitrógeno y potasio. Sin embargo, también se puede regar directamente sin tratamiento a las plantas, pero el uso excesivo sería perjudicial para estas y habría riesgos a la salud de las personas mayormente si son plantas comestibles las cuales son consumidas crudas. (Franco, 2007, pag.30)

Otros de los riesgos ambientales es también cuando las aguas grises llegan a parar a los cauces de ríos, los nutrientes presentes en este tipo de agua pueden generar eutrofización lo que contaminaría el recurso y perjudicaría a la vida acuática presente, además si esta agua se llega a estancar la materia orgánica se descompondría y las bacterias se multiplicarían (Sara, s.f.); y también la contaminación de los acuíferos debido a que el nivel freático está muy cerca de la superficie. (Franco, 2007, pág. 30)

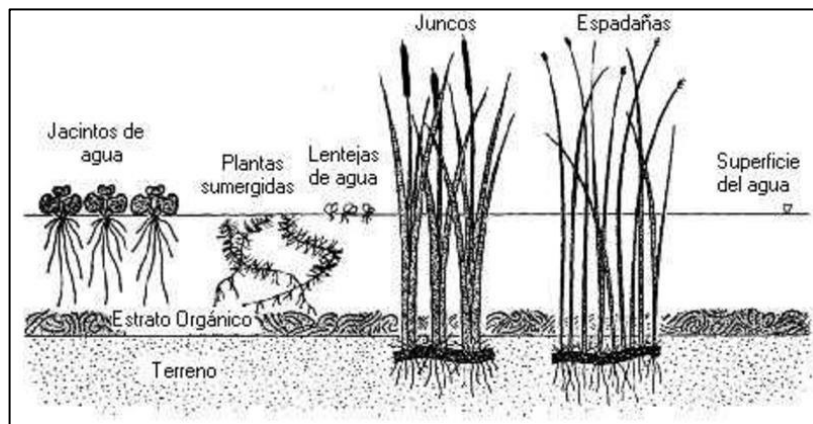
#### **1.3.1.2. Humedal artificial**

Este sistema está implementado por el hombre y se basa en igualar o aproximar las condiciones propias que tienen los humedales naturales. Según Delgadillo (2010), lo define como un sistema de fitodepuración de aguas residuales, mediante el cual se utiliza macrófitas enraizadas, las cuales se sitúan sobre un sustrato compuesto por grava el cual se encuentra impermeabilizado; dando lugar a interacciones físicas, químicas y biológicas, en la que el agua residual es depurada progresivamente y de forma lenta.

Según Fernández (s.f.) nos indica que en este tipo de sistemas las plantas son muy importante ya que se encargan de:

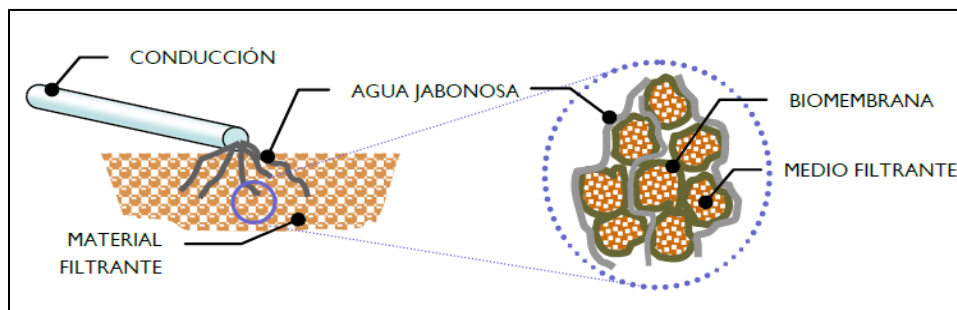
- Absorber los nutrientes (nitrógeno, fósforo) para su crecimiento.
- Ventilar el sistema radicular y suministrar oxígeno a los microorganismos que se encuentran en la rizosfera.
- Absorben los sólidos por el entramado que forma su sistema radicular.

- Sus tejidos ayudan asimilando los contaminantes para su eliminación del agua residual.



**Figura N° 2:** Plantas acuáticas comunes Fuente: Lara, s.f.

En el caso de las aguas grises o jabonosas el sistema funciona de la siguiente manera: El material de relleno sirve para que atrape los sólidos y a la vez hace que se formen biomenbranas, las cuales son las encargadas de la depuración del agua. Este tipo de sistema puede llegar a recuperar el 70% del agua gris inicial para su nuevo uso como regado de áreas verdes. (Sara, s.f.)



**Figura N° 3:** Formación de biomenbranas Fuente: Sara, s.f.

**Tabla N° 1:** Ventajas y desventajas del Humedal artificial para aguas grises

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ahorro de agua</li> <li>• Se evita la contaminación de los cuerpos de agua.</li> <li>• Mantiene las áreas verdes</li> <li>• Protege tu salud y la del entorno</li> <li>• Tiene un costo bajo y es fácil de construir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si se llega a estancar por más de 12 horas puede generar mal olor y riesgos a la salud de las personas y del medio ambiente.</li> </ul>

Fuente: Sarar, s.f.

#### 1.3.1.2.1. Tipos de humedal

Estos se dividen en dos:

##### A. Humedales artificiales de flujo superficial (FWS)

En este caso el agua circula entre los tallos de la planta y está expuesta a la atmosfera, tienen poca profundidad; además puede albergar especies como peces, anfibios, aves, etc. (Delgadillo, 2010)

##### B. Humedales artificiales de flujo subsuperficial (SFS)

En este caso el agua se está al nivel o por debajo del medio filtrante y las plantas transportan el oxígeno que captan del aire a través de sus raíces hacia el agua para su tratamiento. (Caballero, 2016)

**Tabla N° 2:** Rendimiento de depuración de humedal subsuperficial

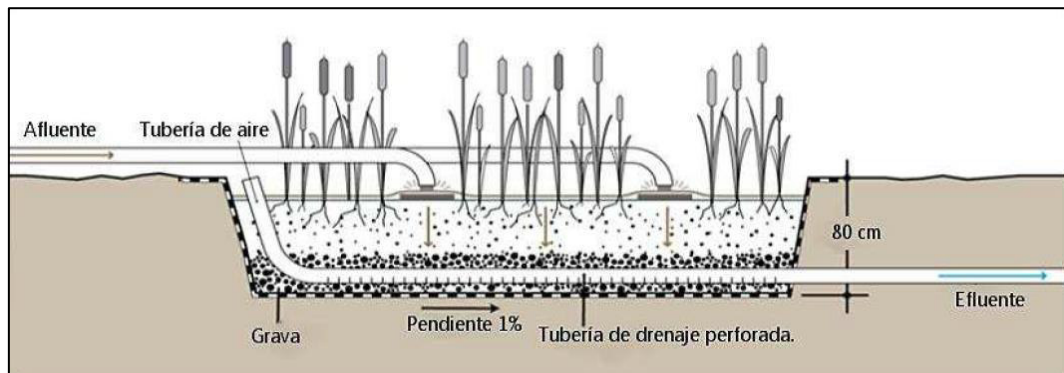
Parámetro	Porcentaje de remoción (%)
DBO5	80 - 90
Nitrógeno	20 - 40
Fosforo	15 - 30
Solidos suspendidos	85 - 90
DQO	75 - 85
Coliformes Fecales	90 - 99

Fuente: Gómez, 2008



### B.1. Humedales de Flujo Horizontal (FH)

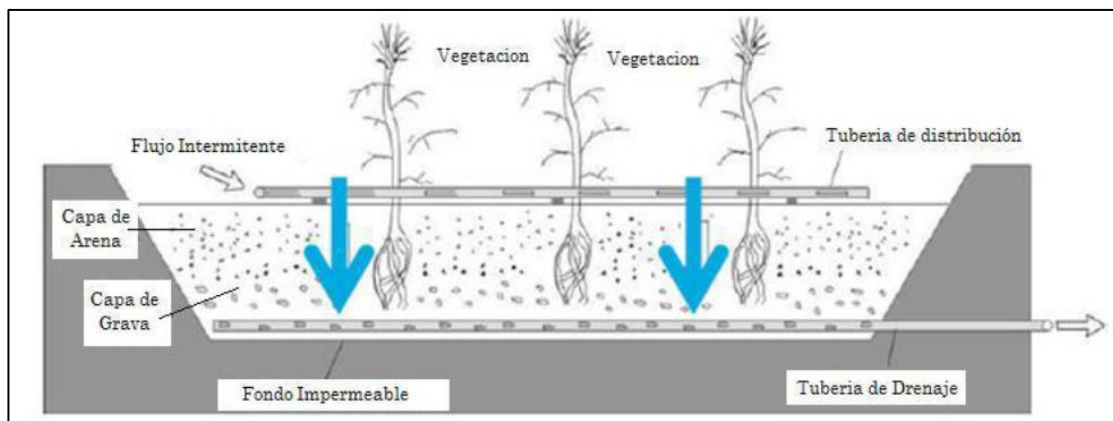
Este tipo de humedal el agua residual a tratar circula de forma horizontal a través del material filtrante, donde está fijada las plantas acuáticas. El efluente entra y sale de extremo a extremo respectivamente. (Marn, s.f.)



**Figura N° 4:** Humedal de flujo horizontal Fuente: (Akvopedia, 2011, citado por Lopez, 2015)

### B.2. Humedales de Flujo Vertical (FV)

En este tipo de humedal el agua residual a tratar circula de forma vertical por el material filtrante que sujeta a las plantas acuáticas. En este caso la red de drenaje se sitúa en la parte baja del humedal. (Marn, s.f.)



**Figura N° 5:** Humedal con flujo vertical Fuente: (Langergraber, 2010, citado por Caballero, 2016)

### 1.3.1.2.2. Diseño del humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal (HASFH)

Según Lopez (2015), nos muestra el diseño sugeridos por Sherwood C. Reed en su libro *Natural system for Waste Managemenr and Treatment*, en el cual indica que el diseño depende del tipo de contaminante y cuanta concentración tiene el agua residual (DBO5, DQO, N, P, materia orgánica, entre otros).

- En el presente trabajo se empleó el DBO5 el cual su concentración varía de 200 a 250 mg/l; mientras que la de salida tiene que ser menor a 20 mg/l (NOM-002-SEMARNAT-1996).

Co: Concentración del contaminante a la entrada

Ce: Concentración del contaminante a la salida

- El caudal (Q) depende de cuantos m<sup>3</sup> de agua se consume al día, multiplicado por la cantidad de personas que viven en el domicilio.
- Para las características típicas de material de sustrato se emplea la siguiente tabla:

Porosidad (n)

Tipo de material	Diámetro promedio [mm]	Porosidad n	Conductividad hidráulica $k_s$ [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> - d]; [m/d]
Arena gruesa	2	0.28-0.32	1-100
Arena fina	8	0.30-0.35	0.01-1
Grava fina	16	0.35-0.38	0.1-1000
Grava media	32	0.36-0.40	0.1-1000
Roca gruesa	128	0.40-0.45	10-1000

**Tabla N° 3:**Características del material de sustrato

Fuente: (Fetter, 2000, citado por Lopez, 2015)

- La profundidad del lecho (y) depende de la longitud de las raíces de las plantas, que se presentan en el siguiente cuadro.

**Tabla N° 4:** Longitud promedio de las raíces

Tipo de vegetación	Profundidad de las raíces [m]
Bulrush, Scirpus (juncos)	0.8
Reeds, Phragmites (carrizos)	0.6
Cattails, Typha (juncos)	0.3

Fuente: (USEPA, 1993, citado por Lopez, 2015)

- El valor de la pendiente (m) debe de ser del 1% o ligeramente mayor, según el manual de construcción de humedales de la Agencia de Protección Ambiental de USA.

Para este diseño se usa los siguientes modelos matemáticos, presentados en la siguiente tabla:

**Tabla N° 5:** Modelos matemáticos para diseño de humedales artificiales

<b>TEMPERATURA DE DISEÑO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL</b>	
<b>Modelo Matemático</b>	<b>Componentes del modelo</b>
$Kt = k_{20}(1.06)^{(t-20)}$	$K_{20}$ Constante de Temperatura a 20°C $t$ Temperatura media del agua
$K_t$	Constante de temperatura
<b>AREA SUPERFICIE REQUERIDA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL</b>	
<b>Modelo Matemático</b>	<b>Componentes del modelo</b>
$A_s = \frac{Q(\ln Co - \ln Ce)}{Kt(y)(n)}$	$Q$ Caudal $Co$ Concentración contaminante afluente $Ce$ Concentración contaminante efluente $Kt$ Conductividad hidráulica $y$ Profundidad humedal $n$ Porosidad efectiva
$A_s$	Área superficial humedal artificial HAFSSH
<b>TIEMPO DE RETENCION HIDRAULICA DEL AGUA EN EL HUMEDAL</b>	
<b>Modelo Matemático</b>	<b>Componentes del modelo</b>
$TRH = \frac{A_s * y * n}{Q}$	$A_s$ Área superficial $y$ Profundidad humedal $n$ Porosidad efectiva $Q$ Caudal
$TRH$	Tiempo de retención hidráulica
<b>HUMEDAL RELACION ANCHO (W): LARGO (L)</b>	
<b>Modelo Matemático</b>	<b>Componentes del modelo</b>
$b = \sqrt{\frac{A_s}{3}}$	$A_s$ Area Superficial
$B$	Ancho Humedal
$L = b \times 3$	$b$ ancho
$L$	Largo Humedal

Fuente: Mena, 2014

### **1.3.1.3. Jacinto de agua “*Eichhornia Crassipes*”**

#### **1.3.1.3.1. Taxonomía**

- Reino: Plantae
- División: Magnoliophyta
- Clase: Liliopsida
- Orden: Commelinales
- Familia: Pontederiaceae
- Género: *Eichhornia*
- Especie: *Eichhornia Crassipes*

#### **1.3.1.3.2. Características**

Según Infojardín (s.f.), esta especie se encuentra en los cursos de agua del Amazonas en América del Sur, se le considera como malas hierbas ya que pueden llegar a invadir todo el cuerpo de agua en poco tiempo y perjudicar los ecosistemas, debido a su rápido crecimiento y multiplicación.

El Jacinto de agua tiene hoja perenne y alargadas de color verde brillante con forma de corazón, sus tallos están rellenos de aire lo que ayuda a flotar en el agua, sus flores tienden a ser de color azul o violeta, la cual florece en verano, pero dura poco tiempo, esta habita en aguas con leves movimientos (Consulta de plantas, s.f.)

Según Coronel (2015), esta especie tiene un sistema de raíces la cuales presentan microorganismo que ayudan a la purificación del agua, ya que retienen en sus tejidos metales pesados, también remueve algunos compuestos orgánicos y reduce niveles de DBO, DQO, SS, etc.

#### **1.3.1.4. Sistema Tohá**

Es un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales, el cual fue creado por el profesor José Tohá Castellá en conjunto con su grupo de colaboradores en el Laboratorio de Biofísica de la Universidad de Chile. Tiene gran eficacia en la remoción de materia orgánica y de microorganismos patógenos. (Hernández, 2005)

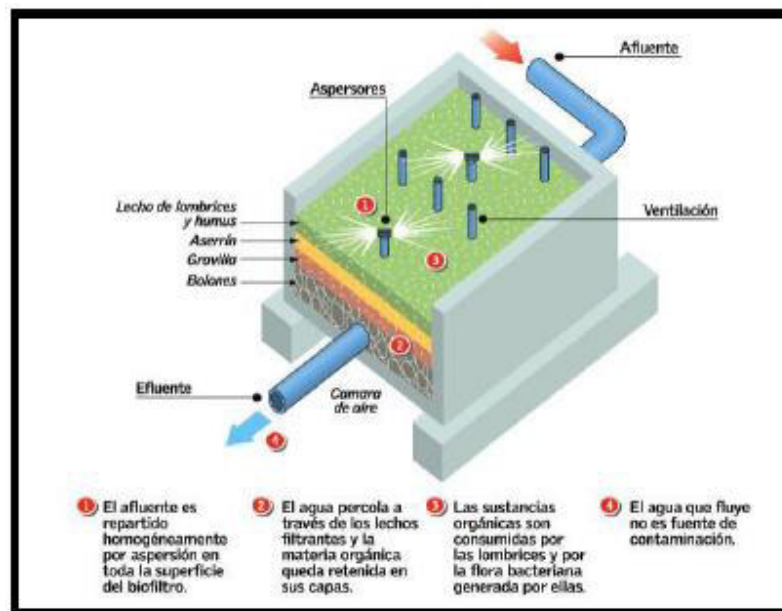
Según Manantial (s. f.) menciona que entre las ventajas que tiene este sistema se encuentran las siguientes:

- No produce lodos

- Genera humus, que puede ser utilizado como abono orgánico.
- Bajo costo
- No genera olores
- El agua resultante sirve para regadío, etc.

El sistema Tohá o lombrifiltro contiene lombrices, las cuales se alimentan de la materia orgánica, limpiando al agua de su principal contaminante. La estructura del biofiltro consiste en cuatro capas: La capa superior se basa principalmente en material orgánico con un mayor número de microorganismos y las lombrices de la especie *Eisenia foetida*. La segunda capa consiste en aserrín para una segunda filtración, la tercera de piedras de menor tamaño y la cuarta de piedras más grandes. Las últimas dos capas son muy importantes ya que proporcionan soporte y aireación al sistema, asegurando su permeabilidad. (Arango, 2003, 38p.)

El proceso inicia cuando el agua residual es irrigada en toda el área de forma homogénea y por acción de la gravedad el agua percola a través de las capas siendo la primera capa la que retiene en un 95% la materia orgánica y donde se produciría el humus. (InduAmbiente, 2013, pp. 106-108 citado por Coronel, 2015)



**Figura N° 6:** Esquema del lombrifiltro

Fuente: (Guzmán, 2004, p. 34)

### 1.3.1.5. Lombrices de tierra

Las lombrices son las principales degradadoras de materia orgánica, por lo que en el sistema Tohá son utilizadas como biofiltro ya que estas hacen como pequeños túneles en la materia orgánica, favoreciendo la aireación (entrada de oxígeno) y ventilación (salida de bióxido de carbono), impidiendo la generación de malos olores y promoviendo la degradación aerobia. Mientras las lombrices recorren estos túneles dejan un moco gelatinoso, el cual favorece el desarrollo de los microorganismos e iniciando la degradación de la materia orgánica. También son eficientes en la disminución de los parámetros de DQO, DBO, SST, STD. (López, 2007)

Entre las variedades de lombrices que también son removedoras de materia orgánica son:

**Tabla N° 6:** Porcentaje de remoción de diferentes especies de lombrices.

Especie lombrices/parámetro	Porcentaje reducción de DBO	Porcentaje reducción de DQO
<i>Eisenia foetida</i>	87.16%	86.53%
<i>Perionyx excavatus</i>	85.88%	85.63%
<i>Perionyx sansibaricus</i>	84.77%	85.46%

Fuente: (Rajpal, s.f.; citado por Manrique, 2016, 21p.)

**Tabla N° 7:** Índices de eficiencia del lombrifiltro

Parámetros	Eficiencia
Coliformes fecales	99%
DBO <sub>5</sub>	95%
Sólidos totales	95%
Sólidos suspendidos	93%
Nitrógeno total	60 a 80%
Aceite y grasas	80%
Fósforo total	60 a 70%

Fuente: Hernández, 2005

#### 1.3.1.5.1. Lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*)

Este anélido es de origen Euroasiático, se han identificado 8000 especies de lombrices de tierra, siendo de uso domesticable solo 3 de ellas, entre las cuales se encuentra la *Eisenia foetida*. Esta es la más eficaz ya que tiene mayor adaptabilidad a diferentes sustratos, variaciones de temperatura, variaciones de pH y humedad. (Compagnoni & Ptzolu, 1998, 35p.; citado por Coronel, 2015)

Según Crespo, et al. (2012) nos dice que entre los residuos orgánicos que pueden ser transformados por la acción de las lombrices son:

- Residuos agrícolas y ganaderos (estiércol de vacuno, ovino, ganado, equino, porcino, caprino, etc.)
- Residuos urbanos (basura orgánica, residuos de jardines y plantas, lodos de depuración de aguas residuales urbanas)
- Residuos de industrias agroalimentarias (Cafetalera, azucarera, citrícola, frutícola, etc.)

En general los sustratos que pueden ingerir las lombrices se clasifican en:

- Convencionales: Estiércol de animales, cachaza y pulpa de café.
- No convencionales: Restos de cosecha, residuos cítricos, polvo de coco, restos de madera, residuos sólidos urbanos y orgánicos.

También pueden comer papel y cartón, pelos y cabellos, cascaras de huevo, papel periódico, polvos de aspirador, pero nunca productos no biodegradables como plásticos, vidrios, metales, etc., ya que les podría causar la muerte. (Terra, s.f)

#### 1.3.1.6. Normativa Ambiental

En el Perú existe la norma que establece los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales.

**Tabla N° 8: Límites Máximos Permisibles**

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), indica el valor para la turbidez, que siendo menor a **5 UNT** es aceptable para los consumidores.

Los parámetros por medir en la presente investigación son los siguientes:

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5):** Sirve para medir la cantidad de oxígeno que utilizan los microorganismos presentes en el agua para la estabilización de la materia orgánica biodegradable, este se mide en un tiempo de 5 días a 20°C. (Navarro, 2007)
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Sirve para medir la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar la materia orgánica presente en el agua. (Rodríguez, 2007)
- **Sólidos Totales en suspensión (SST):** se refiere al material particulado los cuales quedan en suspensión en los cuerpos de aguas. (Dane, s.f.)
- **Turbiedad:** Es la medida en la que el agua pierde su transparencia por la presencia de partículas en suspensión. (Lennetch, s.f.)
- **pH:** mide el grado de acidez o alcalinidad de una solución por la concentración del ion hidrógeno. (Química general, s.f.)

#### **1.4. Formulación del problema**

##### **1.4.1. Problema general**

- ¿En qué medida el sistema acoplado de Humedal artificial y lombrifiltro es eficiente en el tratamiento de aguas grises de la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017?

##### **1.4.2. Problemas específicos**

- ¿Cuáles son los valores de las propiedades fisicoquímicas de las aguas grises a la entrada y salida del sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro en la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017?
- ¿Cuál es el porcentaje de remoción de contaminantes que se dará a las aguas grises al aplicar sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro en la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017?



- ¿Las aguas tratadas en el sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro cumplen con los límites máximos permisibles que establece la normativa ambiental?

### **1.5. Justificación del estudio**

La presente investigación se basa en determinar la eficiencia que tiene el sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro como una alternativa para ser aplicado en el tratamiento de las aguas grises, las cuales provienen principalmente del uso de las lavadoras, lavamanos, entre otros.

Las aguas grises al ser dispuestas al sistema de alcantarillado el cual luego llega parar a diferentes cursos de agua causan un gran impacto ya que al tener alto nivel de carga orgánica podrían generar la eutrofización y los malos olores, perjudicando el ecosistema que se encuentra en ese lugar, por lo tanto con este sistema se desea remover los contaminantes presentes para que cumplan con los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas y además que es de bajo costo.

Este sistema también podría beneficiar a familias que viven en zonas rurales alejadas de la ciudad como en la selva, las cuales muchas veces lavan sus ropas en los ríos sin saber el daño que le ocasionan a este, por lo tanto, la construcción de este sistema les podría ayudar a comprometerse más con el cuidado del agua. Además, que este sistema genera humus por la acción de las lombrices el cual puede ser usado como abono.

### **1.6. Hipótesis**

#### **1.6.1. Hipótesis general**

- El Sistema acoplado de Humedal artificial y lombrifiltro es eficiente en el tratamiento de aguas grises de la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017.

#### **1.6.2. Hipótesis específicas**

- Los valores de las propiedades fisicoquímicas de las aguas grises de entrada del sistema propuesto son más altos que los valores de las aguas de salida.
- El Sistema acoplado de Humedal artificial y lombrifiltro tendrá un porcentaje de remoción del 50% de DQO y DBO de las aguas grises provenientes de la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017.

- Las aguas provenientes al aplicar el Sistema acoplado de Humedal artificial y lombrifiltro cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental.

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo general**

- Determinar la eficiencia del sistema acoplado de Humedal artificial y lombrifiltro en el tratamiento de aguas grises provenientes de la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017.

### **1.7.2. Objetivos específicos**

- Determinar los valores de las propiedades fisicoquímicas de las aguas grises antes y después de aplicar el sistema acoplado de Humedal artificial y lombrifiltro en la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo.
- Determinar el porcentaje de remoción de contaminantes al aplicar el sistema acoplado de Humedal artificial y lombrifiltro en el tratamiento de las aguas grises de la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017.
- Determinar si las aguas tratadas en el sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro cumplen con los límites máximos permisibles que establece la normativa ambiental.

## **II. MÉTODO**

### **2.1. Diseño, Tipo y Nivel de investigación**

- **Diseño:** Esta investigación es experimental ya que se va a manipular la variable independiente para poder medir la variable dependiente; esta se realizará en dos tiempos, antes y después de manipular la variable independiente.
- **Tipo:** Esta investigación es aplicada porque es práctica y sus resultados son utilizados para la solución de problemas.
- **Nivel:** Esta investigación es predictiva o experimental.

## 2.2. Ubicación del estudio

La investigación se llevará a cabo en una vivienda ubicada en la Calle 22, Mz “F”, Lt “11”, Etapa “X” de la Urbanización Santo Domingo en el distrito de Carabayllo; en la cual viven 5 personas.

## 2.3. Diseño del Sistema

### 2.3.1. Materiales

- Triplay de 6 mm
- Malla de 1/2
- Codos de 1”, 1 ½”, ½”, Tubo 1”
- Balde de plástico de 20L
- Plástico grueso
- Clavos
- Pegamento de plástico
- Cola para madera
- 2 tinajas pequeñas donde se almacenará el efluente y las aguas salientes del testigo.

### 2.3.2. Humedal artificial

El cálculo del diseño del humedal se dará por los modelos matemáticos encontrados en los antecedentes. Se calculará con los siguientes datos seleccionados, se aplicará en los modelos matemáticos, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla N° 9:**Parámetros de diseño del Humedal

VARIABLE	VALOR EMPLEADO
Co	250 mg/l
Ce	10 mg/l
T°	18°C
y	0.3 m
m	1% = 0.01
n	0.38
ks	1000
k 20	1.104
Q	0.015 m³/día

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 10:** Cálculos Matemáticos y resultados

VARIABLES	DESARROLLO	RESULTADO
Temperatura del diseño del humedal	$Kt = (1.104) (1.06)^{(18-20)}$	$0.9825 d^{-1}$
Área superficial	$As = \frac{0.015(\ln(250) - \ln(10))}{(0.9825)(0.3)(0.38)}$	$0.43 m^2 d^{-1}$
Área superficial por reactor	$As = \frac{0.43}{2}$	$0.215 m^2 d^{-1}$
Tiempo de retención hidráulica	$TRH = \frac{(0.215)(0.3)(0.38)}{0.015}$	$1.6 días$
Relación Ancho - Largo	$b = \sqrt{\frac{0.215}{3}}$	$0.267 m$
	$L = (0.267)(3)$	$0.80 m$

Como resultados se obtuvo de que las dimensiones del humedal artificial son de 80 cm de largo, 26 cm de ancho y 30 cm de profundidad, en proporción 3:1:1. Para el relleno del humedal artificial se usó grava de 16 mm, un kg de arena fina, grava de 3 cm para que amortigüe el agua de entrada al humedal y finalmente 6 plantas acuáticas de la especie *Eichhornia Crassipes*.

Las plantas recolectadas se enjuagarán primero con agua destilada antes de su uso en el humedal, para retirar los restos provenientes de sus lugares de extracción.

**Figura N° 7:** Jacinto de agua “*Eichhornia Crassipes*”





**Figura N° 8:** Humedal con la especie *Eichhornia Crassipes*

### 2.3.3. Lombrifiltro

Para el diseño del lombrifiltro se adecuará a los parámetros utilizados en Manrique y Piñeros (2016) el cual se basa en obtener una eficiencia de remoción del 96% de DBO. Por lo tanto, el sistema tendrá las siguientes dimensiones: 30 cm de largo, 30 cm de ancho y 15 cm de profundidad contará con 4 lechos filtrantes, el primero cama contendrá 150 lombrices de la especie *Eisenia foetida* con 5 cm con tierra, la segunda cama se cambió por 10 cm de aserrín y viruta, la tercera cama de 5 cm de grava de 0.4 cm de diámetro; y la última cama de 5 cm es de piedras de río de 0.7 cm de diámetro.

Lombrices y tierra (5 cm)
Aserrín y viruta (10 cm)
Grava de 0.4cm (5 cm)
Piedra de río de 0.7 cm (5 cm)

**Figura N° 9:** Lechos filtrantes del Lombrifiltro

### 2.3.4. Testigo

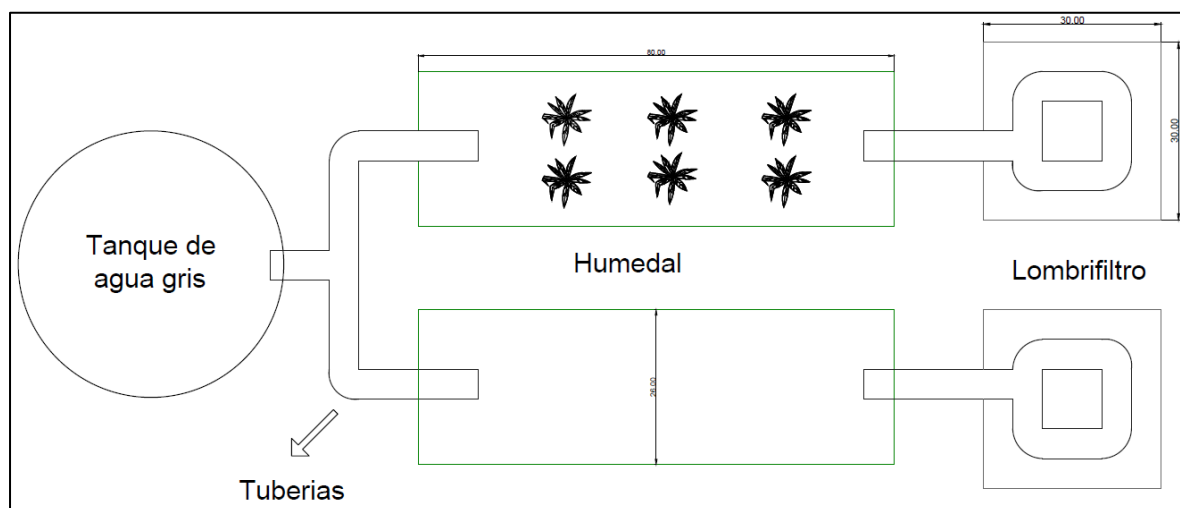
El testigo tendrá las mismas dimensiones y sustratos del humedal artificial y del lombrifiltro, pero con la diferencia que en este no se empleará las plantas de la especie *Eichhornia Crassipes* y las lombrices de la especie *Eisenia foetida*.



**Figura N° 10:** Humedal sin planta y biofiltro sin lombrices

#### 2.4. Procedimiento del sistema

El agua gris (Afluente) ingresa al sistema a partir del tanque de almacenamiento hacia los dos reactores con un caudal de  $0.015 \text{ m}^3/\text{día}$  en forma lenta con un tiempo de retención hidráulica de 1.6 días, esta agua se distribuye por todo el sustrato el cual ayudara a atrapar los sólidos suspendidos y los demás contaminantes serán absorbidos por las plantas, después de haber cumplido con su tiempo el agua del reactor pasara al lombrifiltro, el cual las lombrices atraparán la materia orgánica aun presente, después también pasara a los sustratos los cuales ayudaran a dar aireación al agua, finalmente pasara a un tanque de recepción de las aguas tratadas. El mismo procedimiento se llevara a cabo en el testigo.



**Figura N° 11:** Vista en planta del sistema

#### 2.5. Toma de muestras

La toma de muestras se seguirá mediante el Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales dada por el Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento.

La ubicación de los puntos de monitoreo será a la entrada del afluente, a la salida del efluente y a la salida del testigo, entre los parámetros a evaluar están DBO5, DQO, SST, Turbiedad. También se medirán los parámetros de pH y Temperatura (°C) para llenar el instrumento N°1 de Registro de campo, teniendo en cuentas que estas no serán medidas en campo sino en Laboratorio ya que no se cuentan con estos equipos. Se realizarán un total de 3 muestras (Afluente, efluente y testigo) para ser analizados en Laboratorio.



**Figura N° 12:** Toma de muestras



**Figura N° 13:** Muestra rotuladas en el cooler y listas para llevar a laboratorio.

Fecha de Toma de muestras:

- Muestra N°1: 18/10/17
- Muestra N°2: 30/10/17
- Muestra N°3: 09/11/17

**2.6. Variables, operacionalización**

2.7. Se han identificado 2 variables:

- Variable independiente: Sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro.
- Variable dependiente: Tratamiento de las aguas grises.

**2.7.1. Operacionalización de variables:**

**2.7.2.** Se aplica en la siguiente tabla



**Tabla N° 11:** Cuadro de operacionalización de las variables

OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES						
Variables		Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
INDEPENDIENTE	Sistema acoplado de Humedal Artificial y Lombrifiltro	<p>Se refiere a la unión de dos tipos de sistema de depuración biológica:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El Humedal artificial: Se basa en igualar o aproximar las condiciones propias que tienen los humedales naturales. Es un sistema de fitodepuración de aguas residuales en el que se lleva a cabo interacciones físicas, químicas y biológicas, con el uso de plantas acuáticas. (Delgadillo, 2010)</li> <li>• El lombrifiltro: Contiene lombrices, las cuales se alimentan de la materia orgánica, limpiando al agua de su principal contaminante. La estructura del biofiltro consiste en capas de diferentes sustratos, que permiten la aireación y aseguran su permeabilidad. (Arango, 2003, 38p.)</li> </ul>	El sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro se medirá mediante su diseño y sus componentes.	Diseño del sistema	Caudal	m3/día
					Tiempo de retención hidráulica	días
					Área superficial	m2
				Componentes	Sustrato	Grava Arena
					Vegetación	Unid
					Lombrices	Unid
DEPENDIENTE	Tratamiento de las aguas grises	Se basa en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como finalidad eliminar o reducir los contaminantes que se encuentran en el agua. (AGUAPERÚ, s.f.)	El tratamiento de las aguas grises se medirá mediante sus propiedades físico – químicas, su remoción de contaminantes y su cumplimiento con los límites máximos permisibles.	Propiedades físico - químicas	Turbiedad	UNT
					DBO5	mg/L
					DQO	mg/L
					SST	mg/L
				Remoción de contaminantes	Concentración de los contaminantes	%
				Límites Máximos Permisibles	Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM	Parámetros

Fuente: Elaboración propia

## 2.8. Población y muestra

- Población: Las aguas grises generados en la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, las cuales son un promedio de 30 m<sup>3</sup>/día.
- Unidad de análisis: Las aguas grises.
- Muestra: Volumen del agua que será utilizado para la experimentación tiene un caudal de 0.015 m<sup>3</sup>/día.
- Tipo de muestreo: Simple o puntual.

## 2.9. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

### 2.9.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se detallan a continuación:

**Tabla N° 12:** Técnicas e instrumentos de validación.

<b>Etapas</b>	<b>Fuente</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Instrumento/Herramientas</b>	<b>Resultados</b>
Diseño del sistema de acoplado de Humedal artificial y lombrifiltro	Antecedentes	Observación	Revisión bibliográfica	Sistema de depuración biológico propuesto
Toma de muestras a la entrada y salida del agua	Vivienda	Experimental	Registro de datos de campo, cadena de custodia, etiquetado de frascos	Muestras recolectadas
Remoción de contaminantes del agua gris	Laboratorio	Observación	Reporte de resultado finales por cada muestra recolectada	Nivel de remoción alto
Procesamiento de análisis de resultados	Investigador	Análisis y procesamiento del dato generado	Excel y Minitab 18	Nivel de eficiencia de remoción de contaminantes

Fuente: Elaboración propia

### 2.9.2. Procedimiento en Laboratorio

Se realizó el análisis de los dos primeros muestreos en el Laboratorio “Inspectorate Services Perú S.A.C” el cual se encuentra acreditado por el Organismo peruano de acreditación INACAL –DA, y el análisis del tercer muestreo fue en el laboratorio “LC ICA DEL PERÚ S.A.C”. Se identificó a las muestras de la siguiente forma:

- 1º. Afluente  
2º. Efluente  
3º. Testigo



**Figura N° 14:** Muestra identificada con la numeración

#### 2.9.2.1. pH y Temperatura

##### Materiales

- Equipo: pH metro
- 2 Vasos de precipitación de 250 ml
- Buffer
- Agua destilada

##### Procedimiento

Se comenzó calibrando el equipo con un buffer y lavando cada instrumento a utilizar con agua destilada para luego no tener resultados erróneos en la medición. A continuación, se llenará un vaso de precipitación con 200 ml de la muestra y se introduce el electrodo en la muestra y se anota la medición de pH en un tiempo de espera de 1 minuto, luego retirar la muestra y enjuagar el vaso con agua destilada. Del mismo modo se realizará con la medición de la Temperatura.

### **2.9.2.2. Turbiedad**

#### Materiales

- Equipo: Turbidímetro
- Agua destilada

#### Procedimiento

Se toma la celda con mucho cuidado con la ayuda de un papel y lavarla con el agua destilada y luego con la muestra. Después llenar con la muestra hasta lo indicado en la celda, cerrarlo y colocarlo en el equipo en la dirección indicada en el equipo. Se procede a leer la turbiedad (READ), anotar el resultado y luego retirar la muestra y enjuagarla con agua destilada. Del mismo modo se realizará con las siguientes muestras.

### **2.9.2.3. Oxígeno Disuelto**

#### Materiales

- 3 frascos Winkler de 300 ml
- 3 Pipetas de 1 ml
- Probeta de 100 ml
- Bureta
- Matraz de 150 ml

#### Reactivos

- Sulfato de Manganeso ( $MnSO_4 - 2H_2O$ )
- Alkali – yoduro – acida
- Ácido sulfúrico
- Diosulfato de sodio 0.025 N ( $Na_2S_2O_3 - 5H_2O$ )
- Almidón

#### Procedimiento

Llenar 300 ml de la muestra en el frasco Winkler, luego cerrar y voltear para retirar lo sobrante, fijarse que no haya burbujas en la botella. Con la ayuda de la pipeta echar 1 ml de cada reactivo en el frasco Winkler en el siguiente orden: 1° Sulfato de manganeso 2°

Alcali-yoduro-acida 3° Ácido sulfúrico, este tercero echar de forma lenta ya que se calienta; luego cerrar el frasco, voltear para retirar lo sobrante y homogenizar la solución y esperar un tiempo de 10 minutos. Pasado los 10 minutos se comienza con la titulación, medir 100 ml del frasco Winkler y vaciarlo en el matraz, después echar 5 a 6 gotas de almidón hasta que cambie de color a un morado oscuro. En la bureta colocar el Disulfato de sodio y titular la solución hasta que vire a transparente. Anotar el volumen gastado de disulfato de sodio.

Posteriormente se pasa los datos a la siguiente formula:

$$OD (mg/l) = \frac{V \text{ de disulfato} \times N_{\text{disulfato}} \times 8000 \times V_{\text{botella}}}{ml \text{ de la muestra valorada} \times (V_{\text{botella}} - 2)}$$

Dónde:

V blanco: Volumen gastado de disulfato de sodio

N disulfato: Normalidad del disulfato de sodio

V botella: Volumen de la botella Winkler

#### **2.9.2.4. Demanda Química de Oxígeno**

##### Materiales

- 4 tubos de ensayo
- 3 pipetas de 3 ml
- Agua destilada

##### Reactivos

- Ácido sulfúrico
- Dicromato de potasio 0.25 N
- Sulfato ferroso amoniacal  $((NH_4)_2 Fe(SO_4)_2 \times 6H_2O)$
- Ferroína

### Procedimiento

Con la ayuda de la pipeta echar la muestra N°1, N°2 y N°3 en cada tubo de ensayo y en el cuarto tubo echar agua destilada (Blanco). Luego echar en cada tubo de ensayo 3 ml de dicromato de potasio y luego echar el ácido sulfúrico por la pared del tubo lentamente ya que se calienta. Cerrar el tubo de ensayo para que no se escapen los gases y agitar lentamente. Llevar al reactor con una Temperatura de 105°C por 2 horas. Pasado las 2 horas esperar a que se enfríe para comenzar la titulación, vaciar la solución del blanco en un matraz, agregar 5 gotas de ferroina y titular el sulfato ferroso amoniacal hasta que vire de verdoso oscuro a azul hasta finalmente pasar a rojo. Anotar el volumen gastado de sulfato ferroso amoniacal. Del mismo modo seguir con los 3 tubos.

Posteriormente se pasa los datos a la siguiente formula:

$$DQO \left( \frac{mg}{l} \right) = \frac{(V_{blanco} - V_{de\ la\ muestra}) N_{sulfato\ ferroso\ amoniacal}}{ml\ (muestra)} \times 8000$$

Dónde:

V blanco: Volumen gastado en el blanco

V de la muestra: Volumen gastado en la muestra

N sulfato ferroso amoniacal: Normalidad del sulfato ferroso amoniacal

#### **2.9.2.5. Demanda Bioquímica de Oxígeno**

### Materiales

- Agua de dilución para DBO5
- Frasco Winkler de 300 ml
- Caja de calentamiento

## Procedimiento

Para determinar la dilución del DBO5 se tiene que saber la concentración del DQO.

**Tabla N° 13:** Relación de dilución DQO y DBO

DQO (ppm)	Dilución
1 - 5	directa
5 - 10	Directa y 50%
10 - 15	50% - 30%
15 - 25	30% - 15%
25 - 50	15% - 10%
50 - 100	10% - 5%
100 - 200	2% - 1%
400 - 800	1% - 0.5%

Por ejemplo, si el DQO fue de 50 mg/l entonces la dilución será del 10%; por lo tanto, se llenará 30 ml de la muestra en el frasco Winkler de 300 ml, completando la diferencia con 70 ml de agua de dilución para DBO5, cerrar e invertir para retirar el sobrante fijándose que no haya burbujas adentro del frasco. Luego al frasco Winkler se le cubre con unas bolsas especiales de color negro y luego se le lleva a la caja de calentamiento a una temperatura de 20°C por 5 días, después del quinto día se le realizara la determinación del oxígeno disuelto, siguiendo los mismos pasos anteriores.

Posteriormente se pasa los datos a la siguiente formula:

$$DBO_5 \text{ final} = (OD_I - OD_F) \times \text{Dilución}$$

Dónde:

OD i: Oxígeno disuelto inicial

OD f: Oxígeno disuelto final

Luego se reemplaza en la siguiente formula obteniendo el resultado final:

$$DBO_5 \text{ real} = DBO_5 \text{ final} (1 - e^{-k.t})$$

Dónde:

K: Constante de desoxigenación (k= 0.2)

t: Tiempo (t= 5 días)

#### **2.9.2.6. Sólidos suspendidos Totales**

Para determinar los sólidos suspendidos totales primero se tiene que saber el valor de los sólidos disueltos y de los sólidos totales.

##### Materiales

- 2 Vasos de precipitación de 250 ml
- Estufa
- Desecador
- Filtro Whatman N°40

##### Procedimiento

Los sólidos totales se obtienen de una muestra sin filtrar. Se comienza llevando un vaso de precipitación a la estufa a una temperatura de 105°C por 1 hora y luego al desecador para que se enfríe, luego se lleva el vaso a pesar y se tara, obteniendo así el peso del vaso de precipitación (Peso inicial). Posteriormente se llena con 100 ml de la muestra y se lleva a evaporación hasta sequedad, luego a la estufa a 105°C por 1 hora y después al desecador para que se enfríe, una vez enfriado se pesa el vaso (Peso final) y finalmente con la diferencia del peso del vaso final menos el inicial se obtiene el valor de los sólidos totales.

Los sólidos disueltos se obtienen por filtración. Primero se agita la muestra y luego la filtra. A continuación, se lleva un vaso de precipitación a la estufa a una temperatura de 105°C por 1 hora y luego al desecador para que se enfríe, luego se lleva el vaso a pesar y se tara, obteniendo así el peso del vaso de precipitación (Peso inicial). Posteriormente la muestra se



pasa por un filtro Whatman N°40 hasta llegar al volumen de 100 ml en el vaso de precipitación, luego se lleva a evaporación hasta sequedad y después a la estufa a 105°C por 1 hora para luego ser llevado al desecador para que se enfríe, una vez enfriado se pesa el vaso (Peso final) y finalmente con la diferencia del peso del vaso final menos el inicial se obtiene el valor de los sólidos disueltos.

Posteriormente se pasa los datos a la siguiente formula:

$$SST = ST - SD$$

Dónde:

SST: Solidos suspendidos totales

ST: Solidos totales

SD: Solidos disueltos

### **2.9.3. Validez y confiabilidad**

#### **2.9.3.1. Validez**

La validez de los instrumentos se dio por el método “juicio de expertos”, en el cual se seleccionaron 3 expertos, quienes recibieron información del presente trabajo y evaluaron los instrumentos, determinando su puntaje por cada criterio.

#### **2.9.3.2. Confiabilidad**

Para la determinación de la confiabilidad del instrumento se utilizó el coeficiente de alfa de Cronbach el cual nos indica que cuando el resultado se aproxime más a 1, más fiabilidad tiene el instrumento. Por lo tanto, se utilizó el programa SPSS 24 para calcular este valor, teniendo como resultado 0.994 lo que nos indica que nuestros instrumentos son altamente confiables.

**Tabla N° 14:** Estadística de fiabilidad (Alfa de Cronbach)

<b>Estadísticas de fiabilidad</b>	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,994	10

**Fuente:** Programa SPSS 24

### **2.10. Métodos de análisis de datos**

Los análisis de las muestras se realizarán en un Laboratorio y para la comparación de los resultados se utilizará el programa de Excel y Minitab 18.

### **2.11. Aspectos éticos**

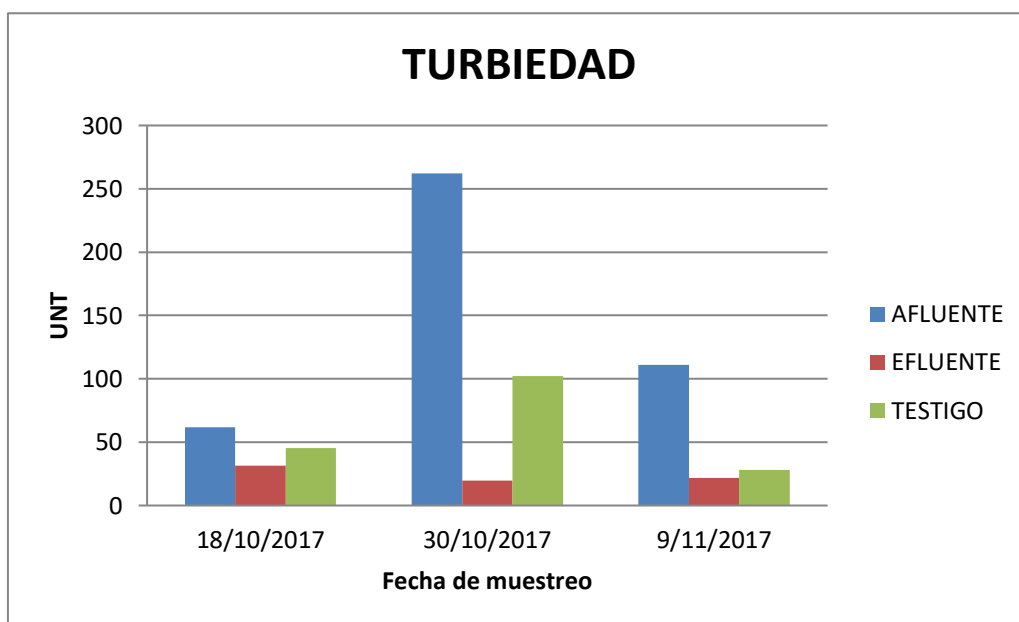
El presente trabajo tiene la finalidad de respetar la veracidad de los resultados de los análisis que se realizarán y además el investigador se compromete a utilizar fuentes y referencias confiables para la investigación.

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Resultados de las propiedades fisicoquímicas del agua de entrada y salida del Sistema.

Los resultados de los parámetros (Turbiedad, DQO, DBO5 y SST) obtenidos en Laboratorio del Afluente (Aguas grises), Efluente (Agua de salida del SAHL) y Testigo (Agua de salida del Testigo), se detallarán a continuación:

##### 3.1.1. Turbiedad



Fuente: Programa Excel

**Gráfico N° 1:** Turbiedad (UNT) vs cada fecha de muestreo

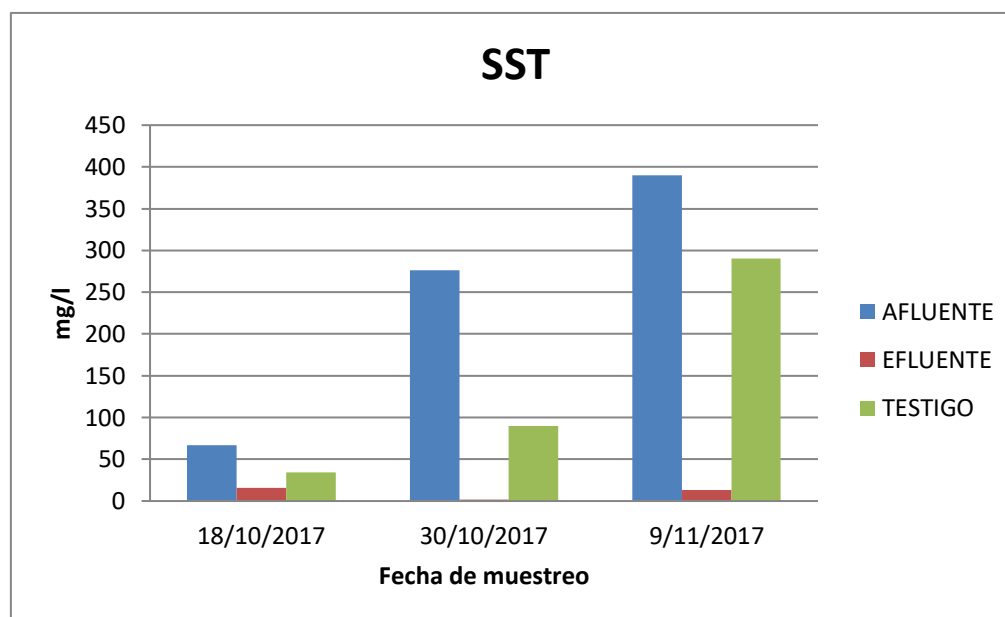
En la gráfica N°1 se realizó 3 muestreos en diferentes fechas para el afluente, efluente y testigo, obteniendo los siguientes resultados:

En el **afluente** el máximo valor fue de 262 UNT, el mínimo valor fue de 61.6 UNT y el valor promedio fue de 144.83 UNT.

En el **efluente** el máximo valor fue de 31.6 UNT, el mínimo valor fue de 19.5 UNT y el valor promedio fue de 24.2 UNT.

En el **testigo** el máximo valor fue de 102 UNT, el mínimo valor fue de 28.1 UNT y el valor promedio fue de 58.5 UNT.

### 3.1.2. Sólidos Suspendidos Totales (SST)



Fuente: Programa Excel

**Gráfico N° 2:** SST (mg/L) vs cada fecha de muestreo

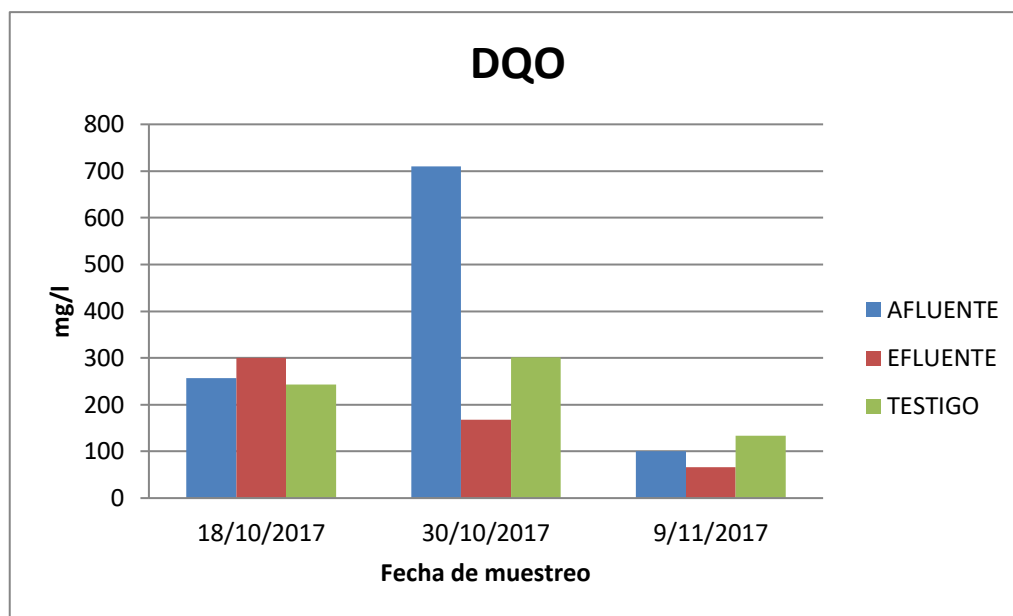
En la gráfica N°2 se realizó 3 muestreos en diferentes fechas para el afluente, efluente y testigo, obteniendo los siguientes resultados:

En el **afluente** el máximo valor fue de 390 mg/L, el mínimo valor fue de 67 mg/L y el valor promedio fue de 244.3 mg/L.

En el **efluente** el máximo valor fue de 16 mg/L, el mínimo valor fue de 2 mg/L y el valor promedio fue de 10.3 mg/L.

En el **testigo** el máximo valor fue de 290 mg/L, el mínimo valor fue de 34 mg/L y el valor promedio fue de 138 mg/L.

### 3.1.3. Demanda química de oxígeno (DQO)



Fuente: Programa Excel

**Gráfico N° 3:**DQO (mg/L) vs cada fecha de muestreo

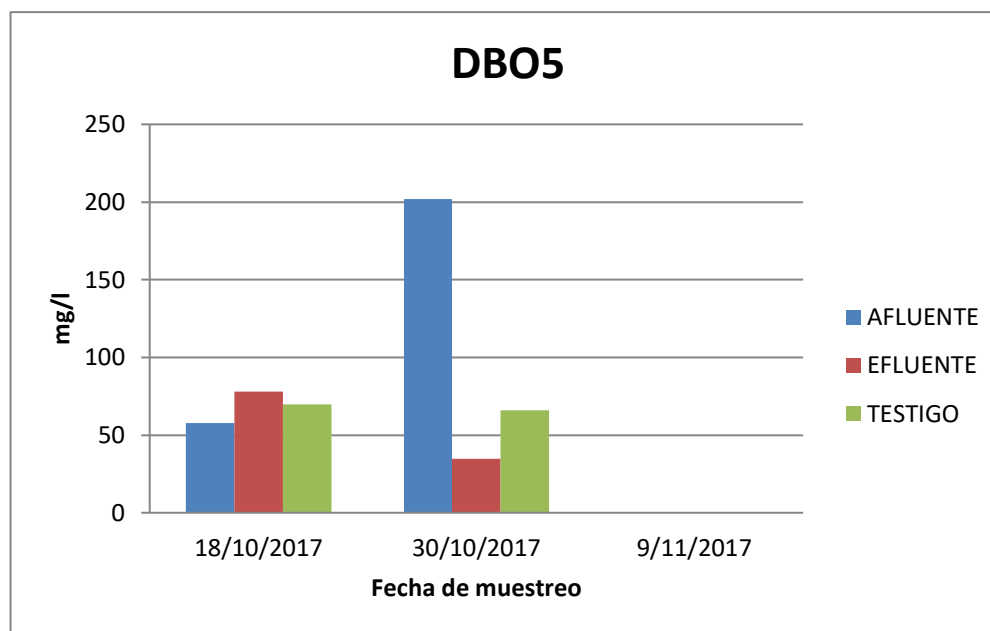
En la gráfica N°3 se realizó 3 muestreos en diferentes fechas para el afluente, efluente y testigo, obteniendo los siguientes resultados:

En el **afluente** el máximo valor fue de 710.2 mg/L, el mínimo valor fue de 100 mg/L y el valor promedio fue de 355.8 mg/L.

En el **efluente** el máximo valor fue de 300.3 mg/L, el mínimo valor fue de 168.1mg/L y el valor promedio fue de 178.3 mg/L.

En el **testigo** el máximo valor fue de 301.5 mg/L, el mínimo valor fue de 133.3 mg/L y el valor promedio fue de 226.1 mg/L.

### 3.1.4. Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO5)



Fuente: Programa Excel

**Gráfico N° 4:** DBO5 (mg/L) vs cada fecha de muestreo

En la gráfica N°4 se realizó 3 muestreos en diferentes fechas para el afluente, efluente y testigo, obteniendo los siguientes resultados:

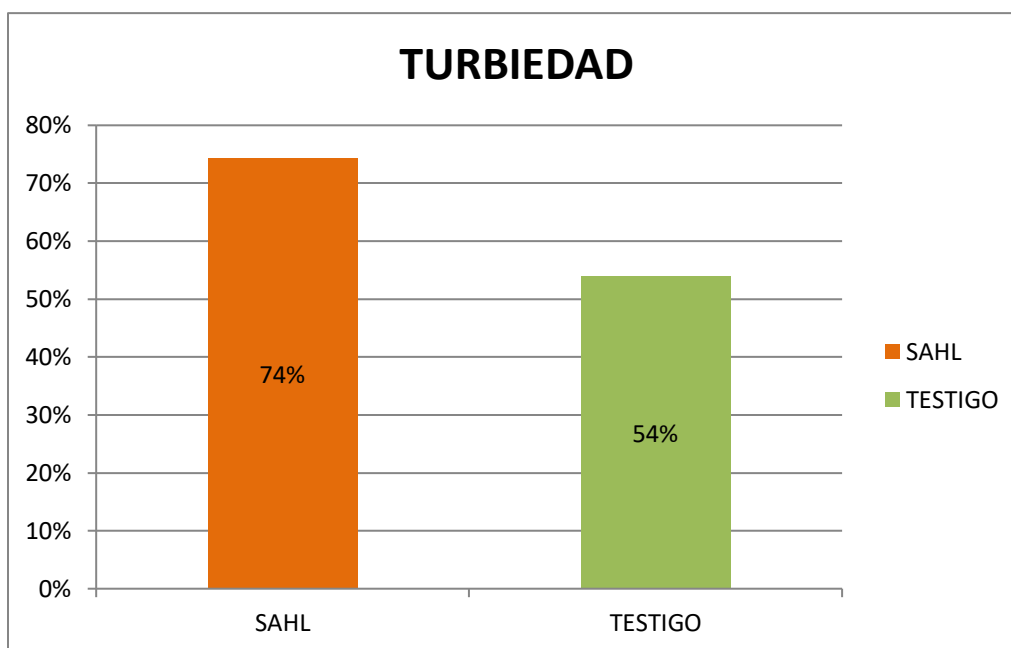
En el **afluente** el máximo valor fue de 201.9 mg/L, el mínimo valor fue de 0.0062 mg/L y el valor promedio fue de 86.5 mg/L.

En el **efluente** el máximo valor fue de 78.1 mg/L, el mínimo valor fue de 0.095 mg/L y el valor promedio fue de 37.7 mg/L.

En el **testigo** el máximo valor fue de 69.8 mg/L, el mínimo valor fue de 0.021 mg/L y el valor promedio fue de 45.2 mg/L.

### 3.2. Porcentaje de remoción

#### 3.2.1. Porcentaje de remoción de turbiedad

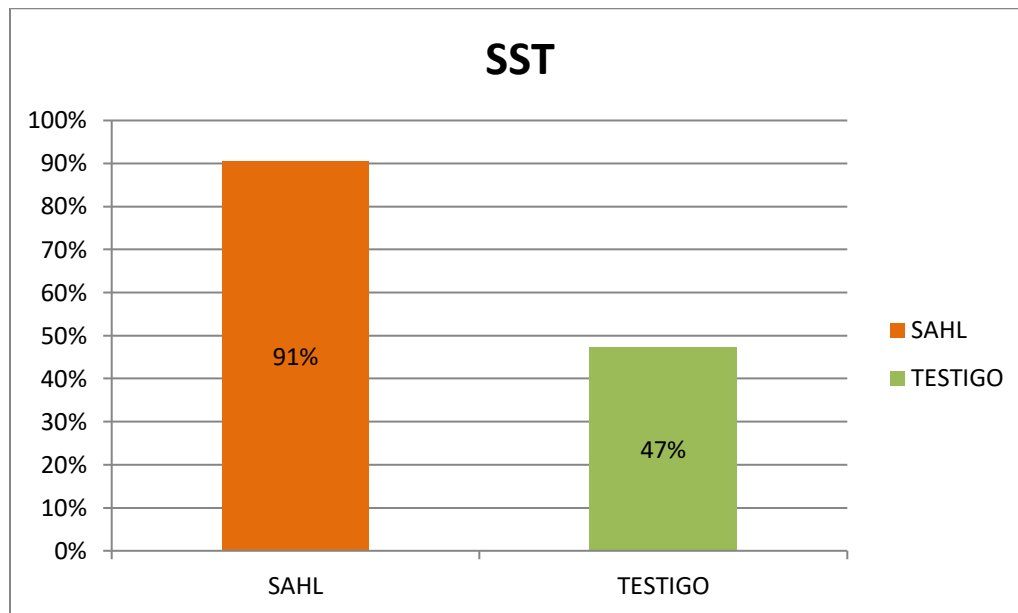


**Fuente:** Programa Excel

**Gráfico N° 5:** Porcentaje de remoción del SAHL vs Testigo

En la gráfica N°5 se observa que el Sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro tiene un mayor porcentaje de remoción de Turbiedad con un valor promedio de 74%, mientras que el testigo tiene un valor promedio del 54%.

### 3.2.2. Porcentaje de remoción de SST



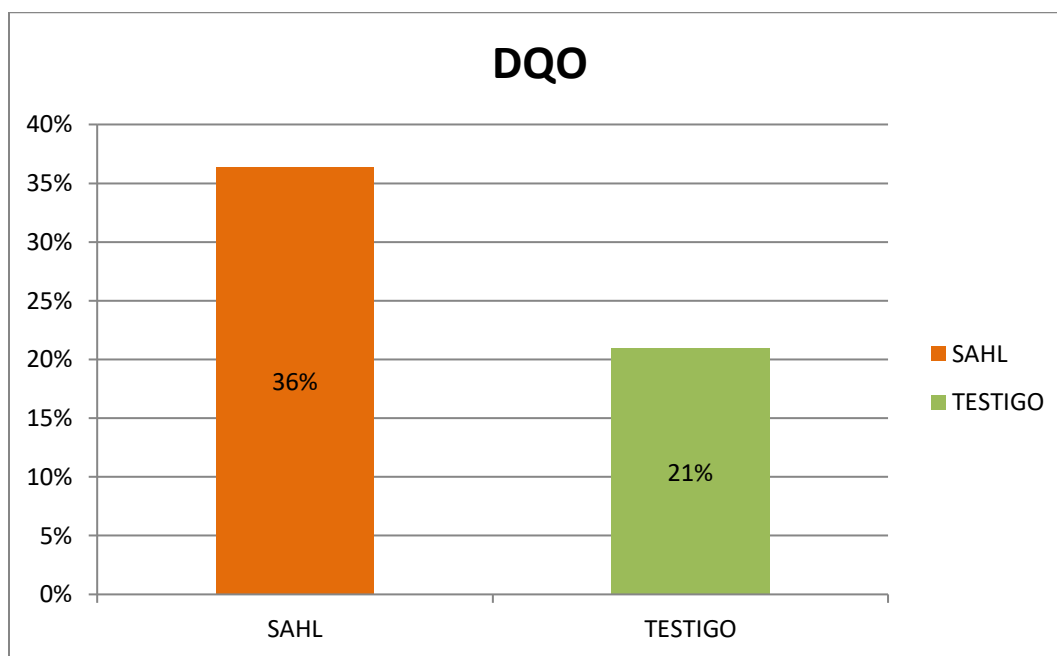
**Fuente:** Programa Excel

**Gráfico N° 6:** Porcentaje de remoción del SAHL vs Testigo

En la gráfica N°6 se observa que el Sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro tiene un mayor porcentaje de remoción de Sólidos suspendidos totales (SST) con un valor promedio de 91%, mientras que el testigo tiene un valor promedio del 47%.



### 3.2.3. Porcentaje de remoción de DQO

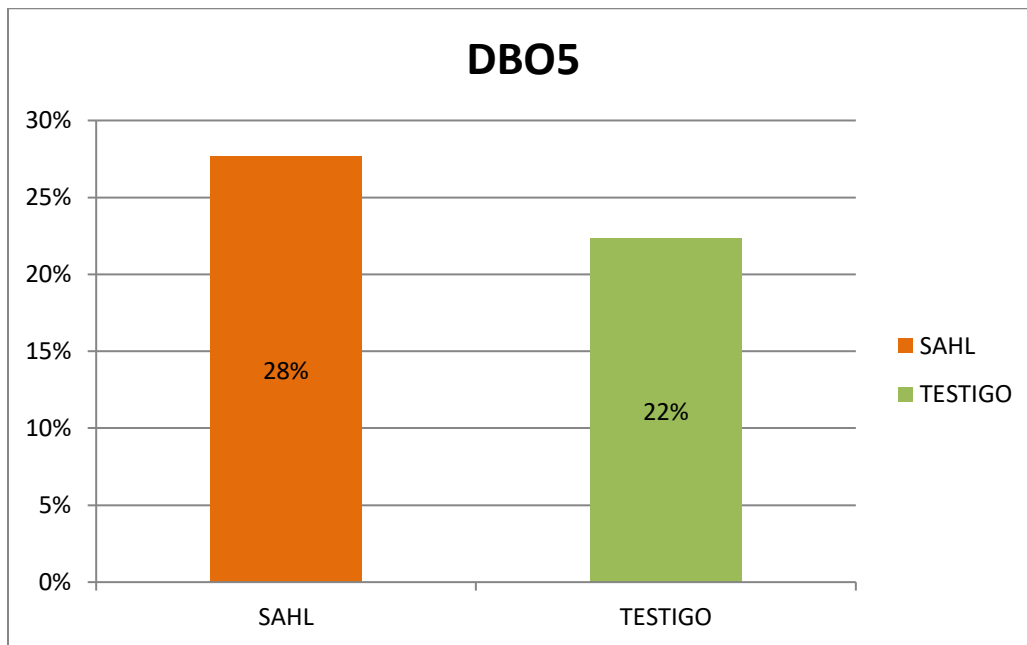


**Fuente:** Programa Excel

**Gráfico N° 7:** Porcentaje de remoción del SAHL vs Testigo

En la gráfica N°7 se observa que el Sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro tiene un mayor porcentaje de remoción de Demanda química de oxígeno (DQO) con un valor promedio de 36%, mientras que el testigo tiene un valor promedio del 21%.

### 3.2.4. Porcentaje de remoción de DBO5



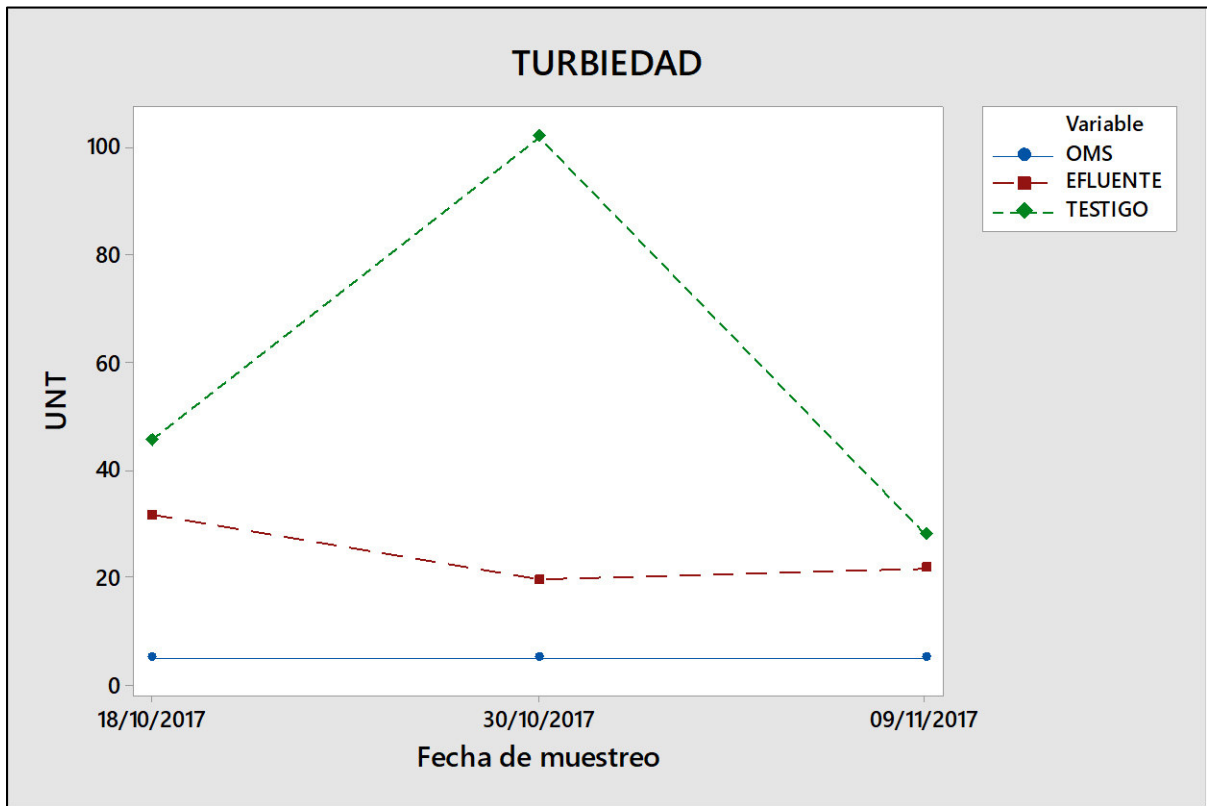
**Fuente:** Programa Excel

**Gráfico N° 8:** Porcentaje de remoción del SAHL vs Testigo

En la gráfica N°8 se observa que el Sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro tiene un mayor porcentaje de remoción de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) con un valor promedio de 28%, mientras que el testigo tiene un valor promedio del 22%.

### 3.3. Comparación de los resultados de cada parámetro con el LMP

#### 3.3.1. Resultados de Turbiedad y LMP

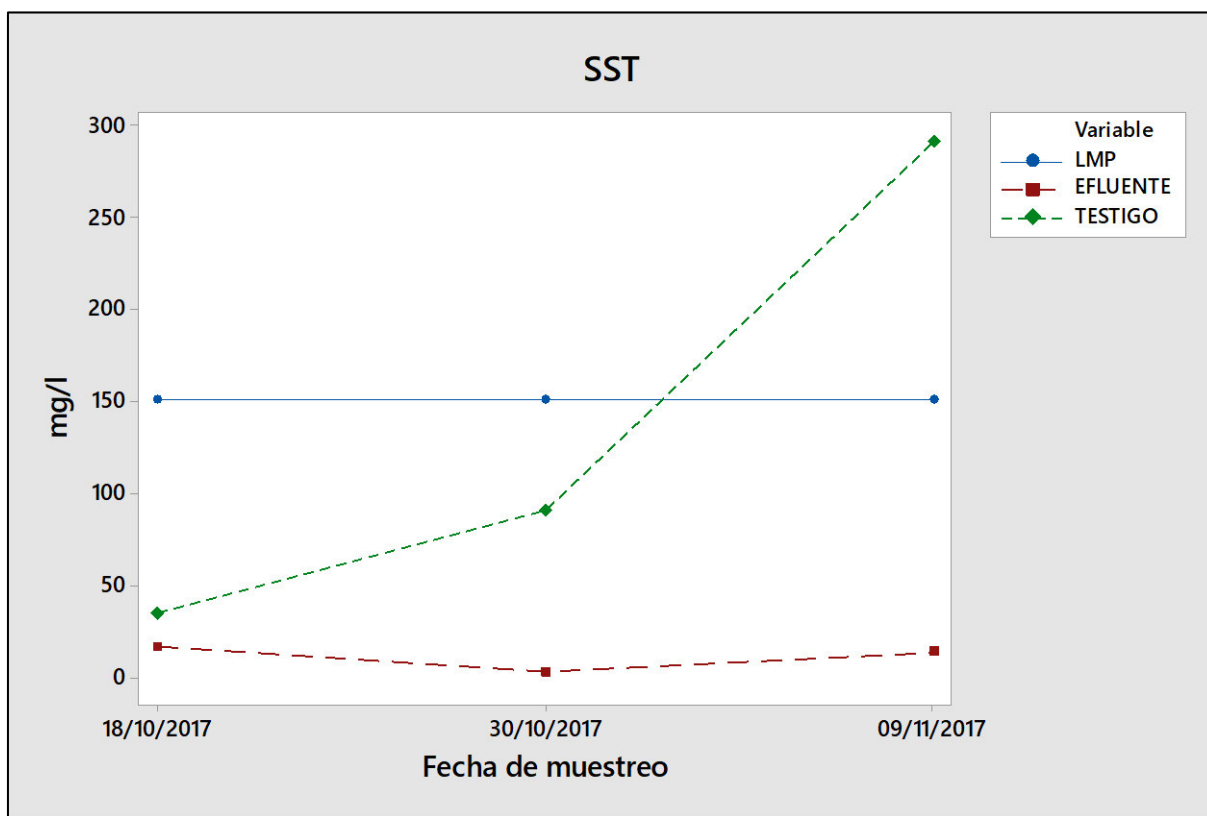


**Fuente:** Programa Minitab 18

**Gráfico N° 9:**Concentración de Turbiedad vs OMS

En la gráfica N°9 se puede observar que las concentraciones de turbiedad en el agua que sale del SAHL y del testigo se encuentran por encima de la norma establecida por la Organización mundial de la salud (OMS, 1998), sin embargo, el testigo siempre presento valores más altos que efluente que sale del SAHL.

### 3.3.2. Resultados de SST y LMP

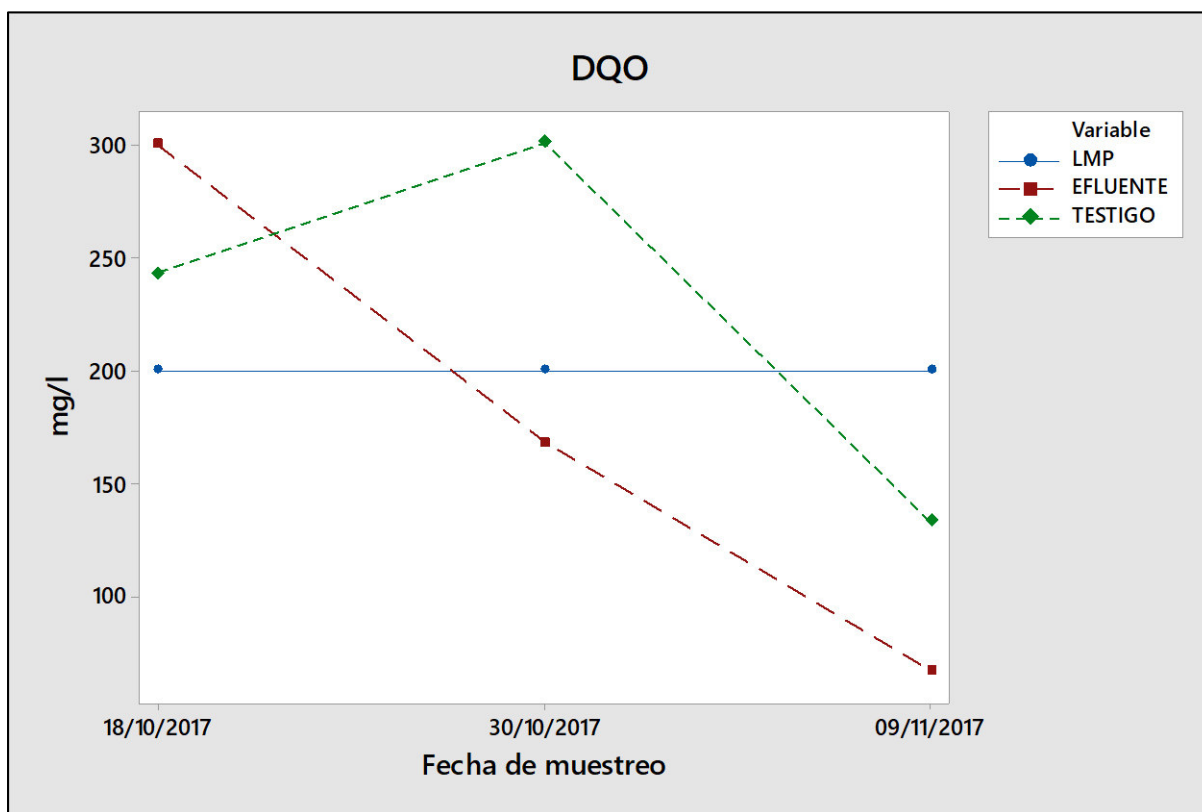


Fuente: Programa Minitab 18

**Gráfico N° 10:** Concentración de SST vs LMP

En la gráfica N°10 se puede observar que en los dos primeros muestreos las concentraciones de Sólidos suspendidos Totales (SST) en el agua que sale del SAHL y del testigo se encuentran por debajo de Límites máximo-permisibles, sin embargo, en el tercer muestreo el testigo sobrepasó la norma.

### 3.3.3. Resultados de DQO y LMP

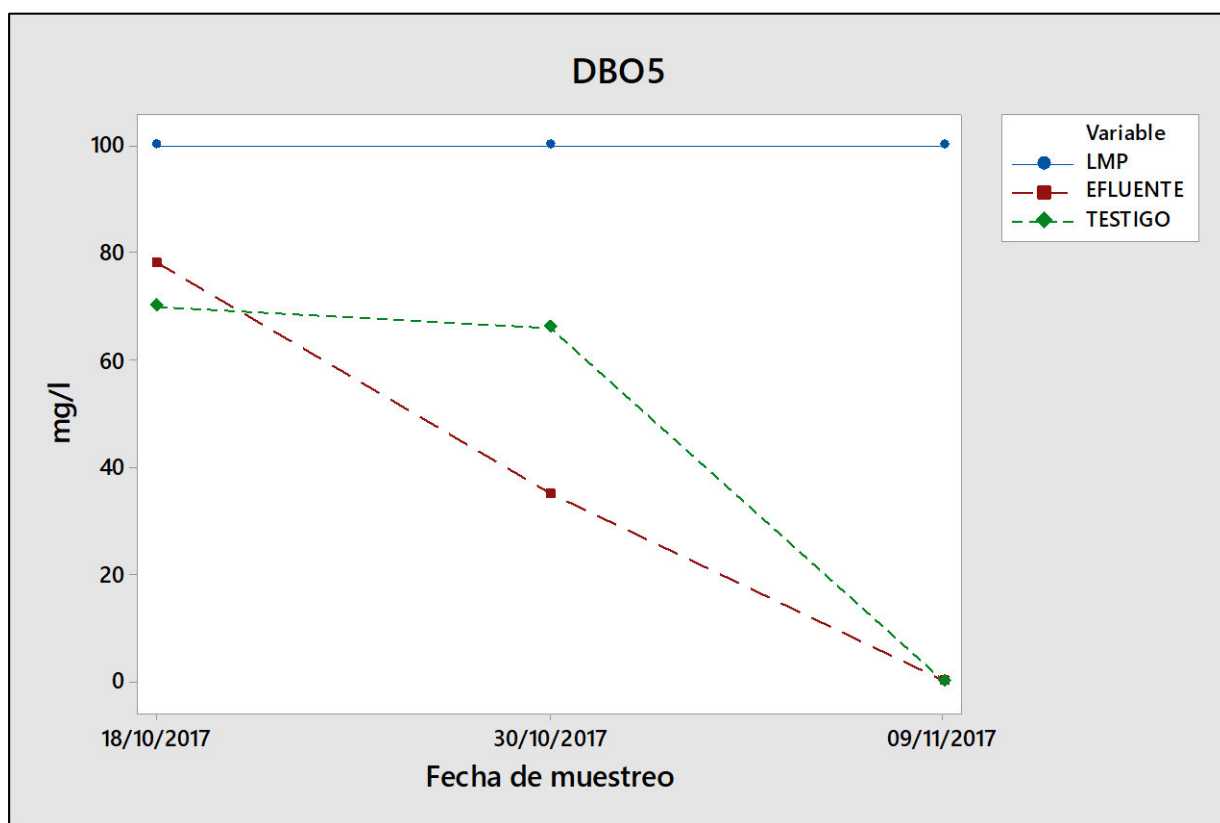


**Fuente:** Programa Minitab 18

**Gráfico N° 11:** Concentración de DQO vs LMP

En la gráfica N°11 se puede observar que desde el segundo muestreo las concentraciones de Demanda química de oxígeno (DQO) en el agua que sale del SAHL se encuentran por debajo de los límites permisibles, sin embargo, lo contrario se da en el testigo quien solo en el tercer muestreo respeta la norma.

### 3.3.4. Resultados de DBO5 y LMP



Fuente: Programa Minitab 18

**Gráfico N° 12:** Concentración de DBO5 vs LMP

En la gráfica N°12 se puede observar que las concentraciones de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) en el agua que sale del SAHL y del testigo se encuentran por debajo de los límites permisibles, sin embargo, las aguas del testigo presentan valores más altos que la del SAHL en el segundo muestreo.

### 3.4. Prueba de normalidad por cada parámetro

Se realizó la prueba de normalidad de Ryan joiner en el programa Minitab 18, para determinar si los datos del resultado (Afluyente, efluente y testigo) por cada parámetro siguen una distribución normal. Se tiene como hipótesis lo siguiente:

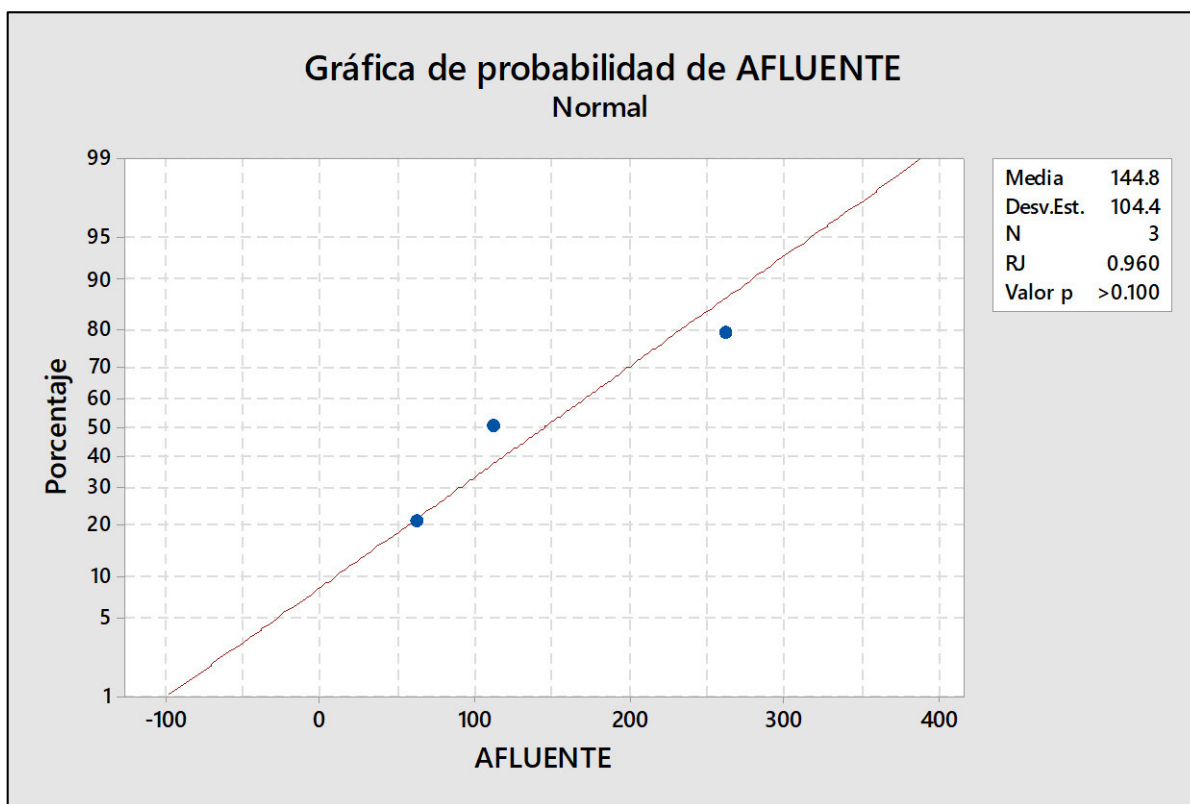
$H_0$ : Los datos siguen una distribución normal

$H_1$ : Los datos no siguen una distribución normal

Se usará un nivel de significancia de 0.05 ( $\alpha = 0.05$ ), si el valor de p es menor o igual que el nivel de significancia se rechazará la hipótesis nula y se concluirá que los datos no siguen una distribución normal. En cambio, si el valor p es mayor que el nivel de significancia, entonces se acepta la hipótesis nula.

#### 3.4.1. Prueba de normalidad para Turbiedad

##### 3.4.1.1. Afluyente (Agua gris)

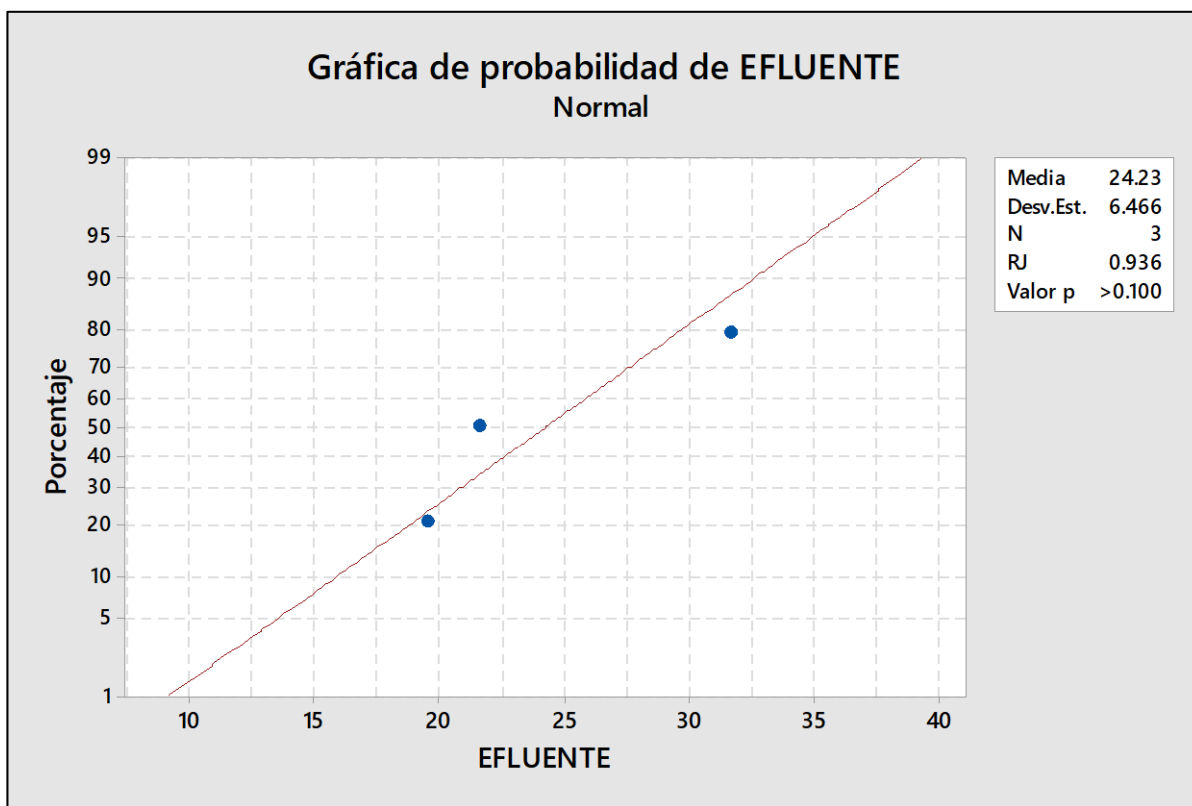


Fuente: Programa Minitab 18

Gráfico N° 13: Grafica de normalidad del Afluyente para el parámetro Turbiedad.

En la gráfica N°13 se observa que  $p$  es mayor a 0.100, el cual es mayor al nivel de significancia de 0.05, por lo que se acepta la  $H_0$  y se concluye que los datos del afluente para Turbiedad siguen una distribución normal.

#### 3.4.1.2. Efluente (Salida del SAHL)



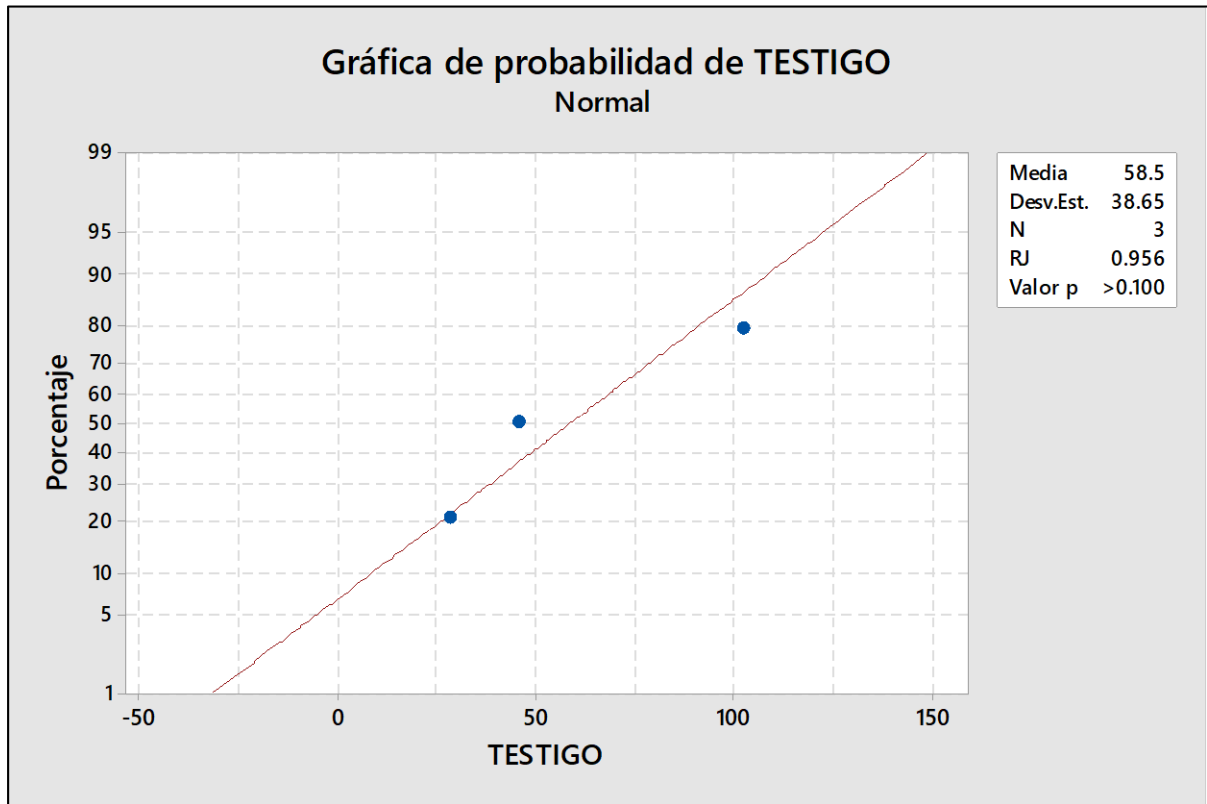
**Fuente:** Programa Minitab 18

**Gráfico N° 14:** Grafica de normalidad del Efluente para el parámetro Turbiedad.

En la gráfica N°14 se observa que  $p$  es mayor a 0.100, el cual es mayor al nivel de significancia de 0.05, por lo que se acepta  $H_0$  y se concluye que los datos del efluente para Turbiedad siguen una distribución normal.



### 3.4.1.3. Testigo (Salida del Testigo)



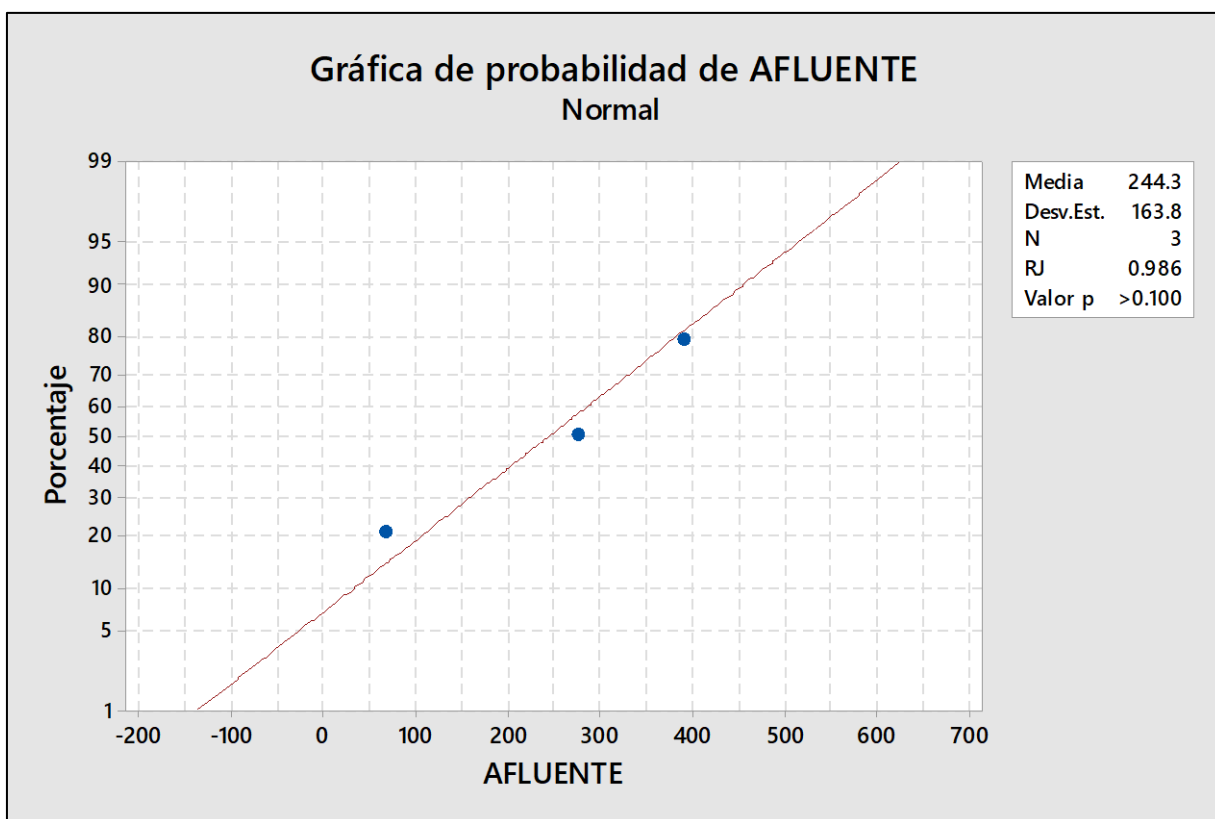
**Fuente:** Programa Minitab 18

**Gráfico N° 15:** Grafica de normalidad del Testigo para el parámetro Turbiedad.

En la gráfica N°14 se observa que  $p$  es mayor a 0.100, el cual es mayor al nivel de significancia de 0.05, por lo que se acepta la  $H_0$  y se concluye que los datos del testigo para Turbiedad siguen una distribución normal.

### 3.4.2. Prueba de normalidad para Solidos suspendidos Totales

#### 3.4.2.1. Afluente (Agua gris)

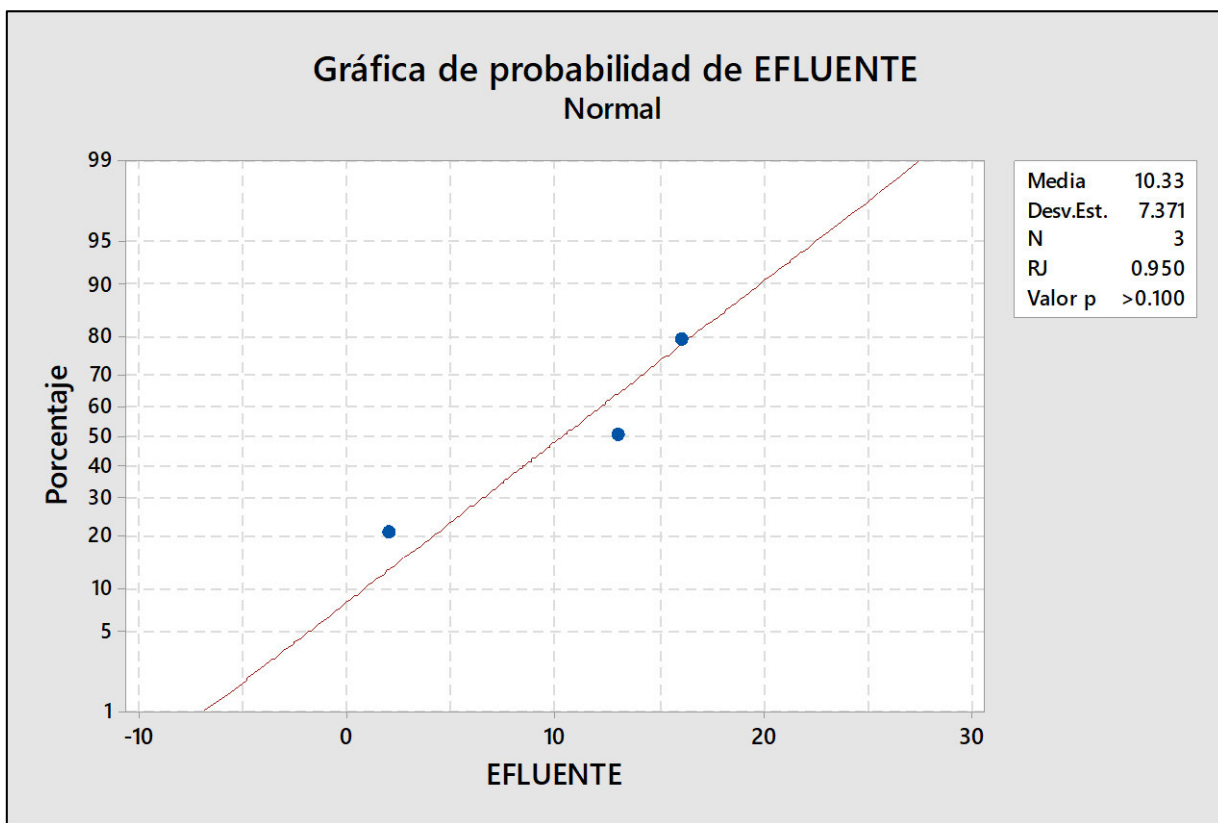


**Fuente:** Programa Minitab 18

**Gráfico N° 16:** Grafica de normalidad del Afluente para el parámetro SST.

En la gráfica N°16 se observa que  $p$  es mayor a 0.100, el cual es mayor al nivel de significancia de 0.05, por lo que se acepta la  $H_0$  y se concluye que los datos del afluente para Solidos suspendidos totales siguen una distribución normal.

### 3.4.2.2. Efluente (Salida del SAHL)

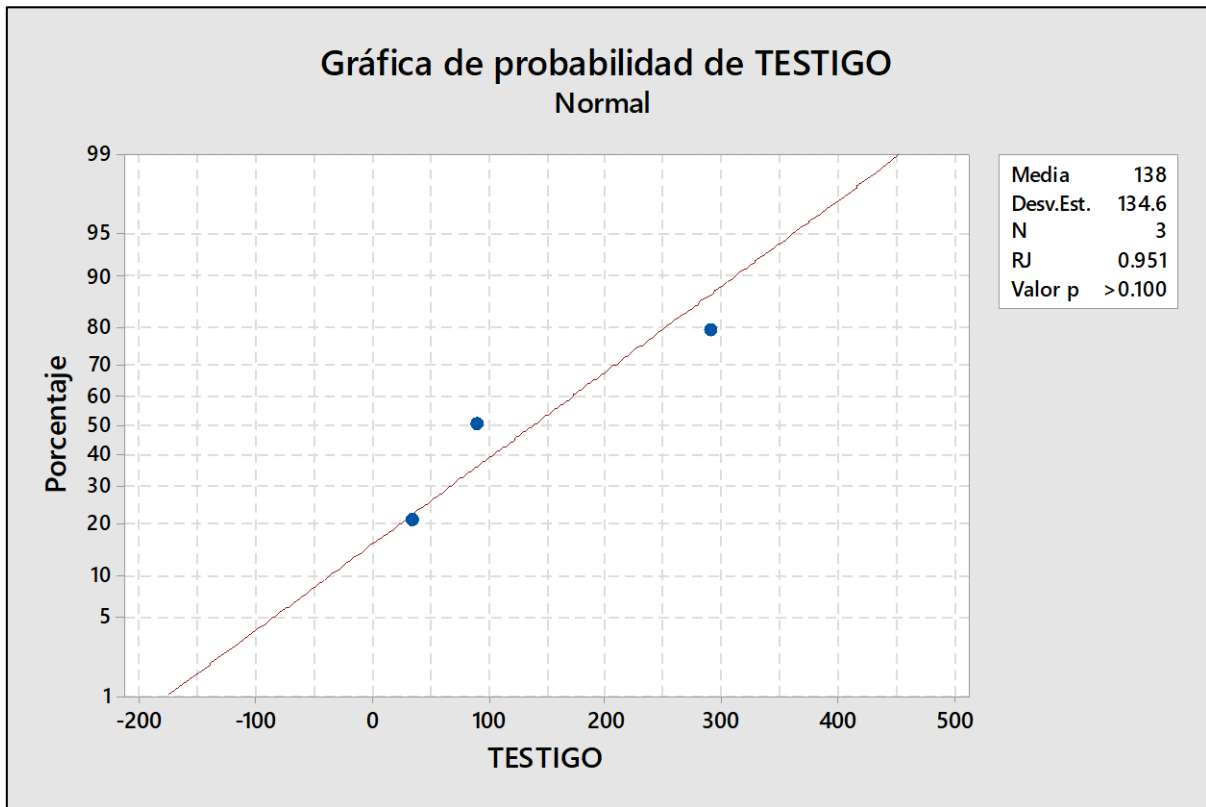


**Fuente:** Programa Minitab 18

**Gráfico N° 17:** Grafica de normalidad del Efluente para el parámetro SST.

En la gráfica N°17 se observa que  $p$  es mayor a 0.100, el cual es mayor al nivel de significancia de 0.05, por lo que se acepta la  $H_0$  y se concluye que los datos del efluente para Solidos suspendidos totales siguen una distribución normal.

### 3.4.2.3. Testigo (Salida del Testigo)



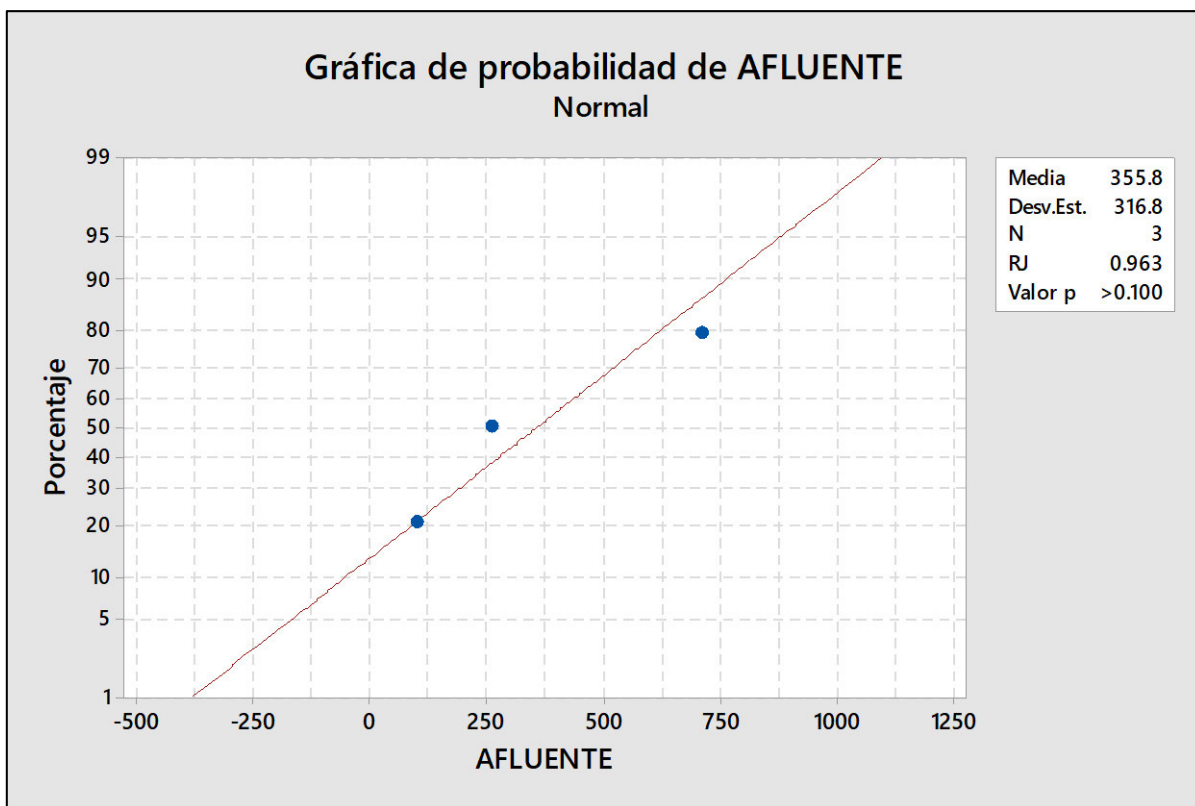
**Fuente:** Programa Minitab 18

**Gráfico N° 18:** Grafica de normalidad del Testigo para el parámetro SST.

En la gráfica N°18 se observa que  $p$  es mayor a 0.100, el cual es mayor al nivel de significancia de 0.05, por lo que se acepta la  $H_0$  y se concluye que los datos del testigo para Solidos suspendidos totales siguen una distribución normal.

### 3.4.3. Prueba de normalidad para la Demanda química de oxígeno

#### 3.4.3.1. Afluyente (Agua gris)

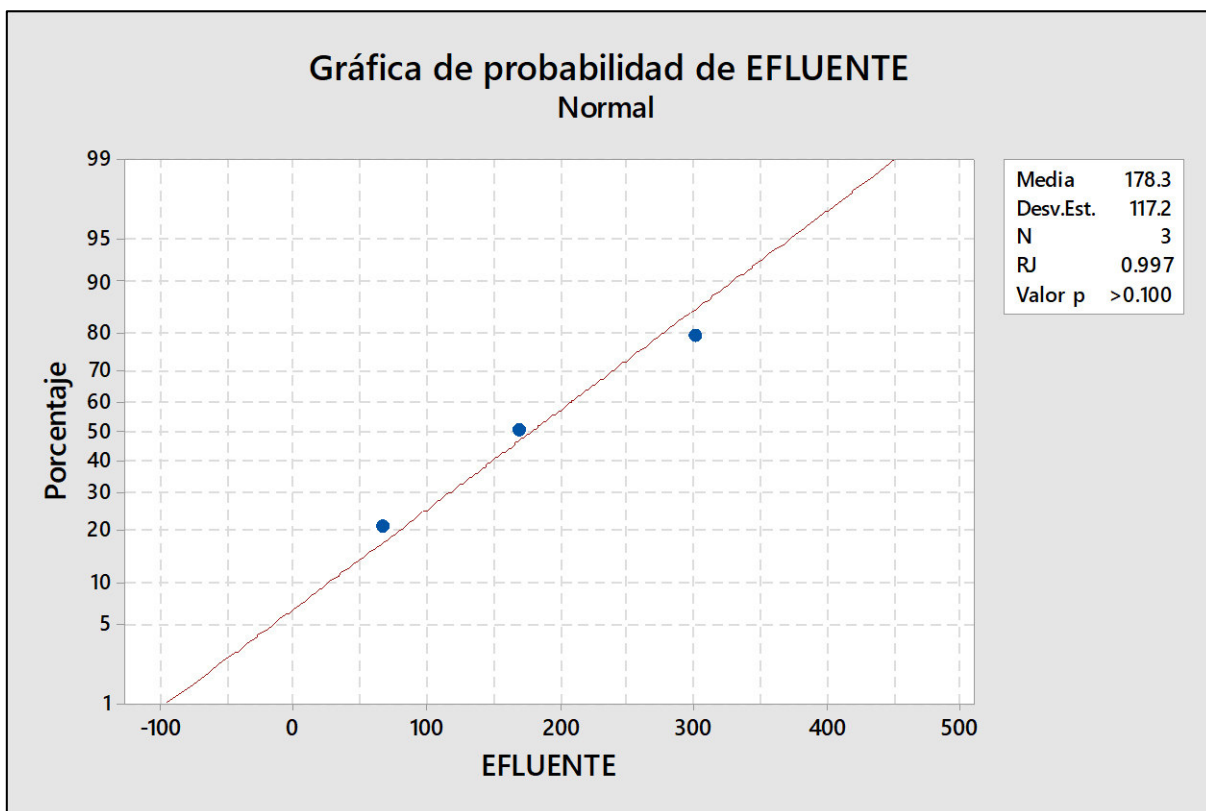


**Fuente:** Programa Minitab 18

**Gráfico N° 19:** Grafica de normalidad del Afluyente para el parámetro DQO.

En la gráfica N°19 se observa que  $p$  es mayor a 0.100, el cual es mayor al nivel de significancia de 0.05, por lo que se acepta la  $H_0$  y se concluye que los datos del afluyente para la Demanda química de oxígeno siguen una distribución normal.

### 3.4.3.2. Efluente (Salida del SAHL)

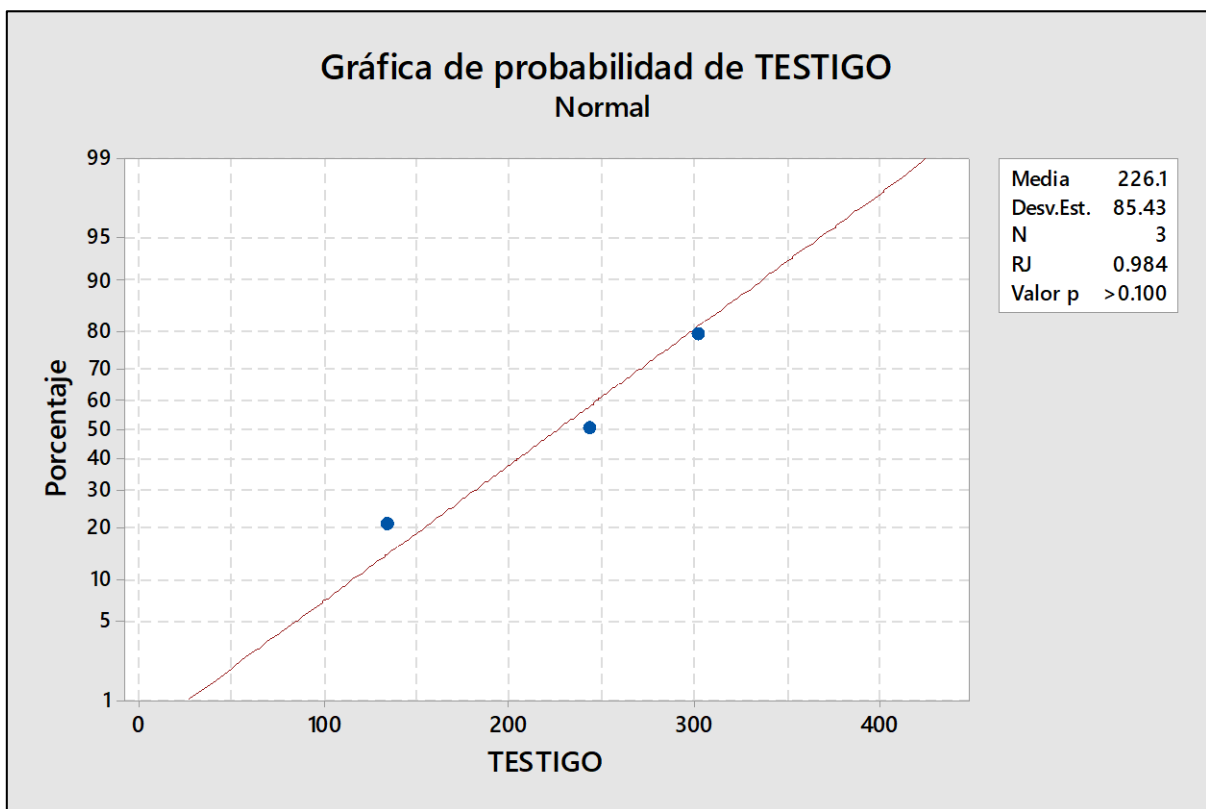


**Fuente:** Programa Minitab 18

**Gráfico N° 20:** Grafica de normalidad del Efluente para el parámetro DQO.

En la gráfica N°20 se observa que  $p$  es mayor a 0.100, el cual es mayor al nivel de significancia de 0.05, por lo que se acepta la  $H_0$  y se concluye que los datos del efluente para la Demanda química de oxígeno siguen una distribución normal.

### 3.4.3.3. Testigo (Salida del Testigo)



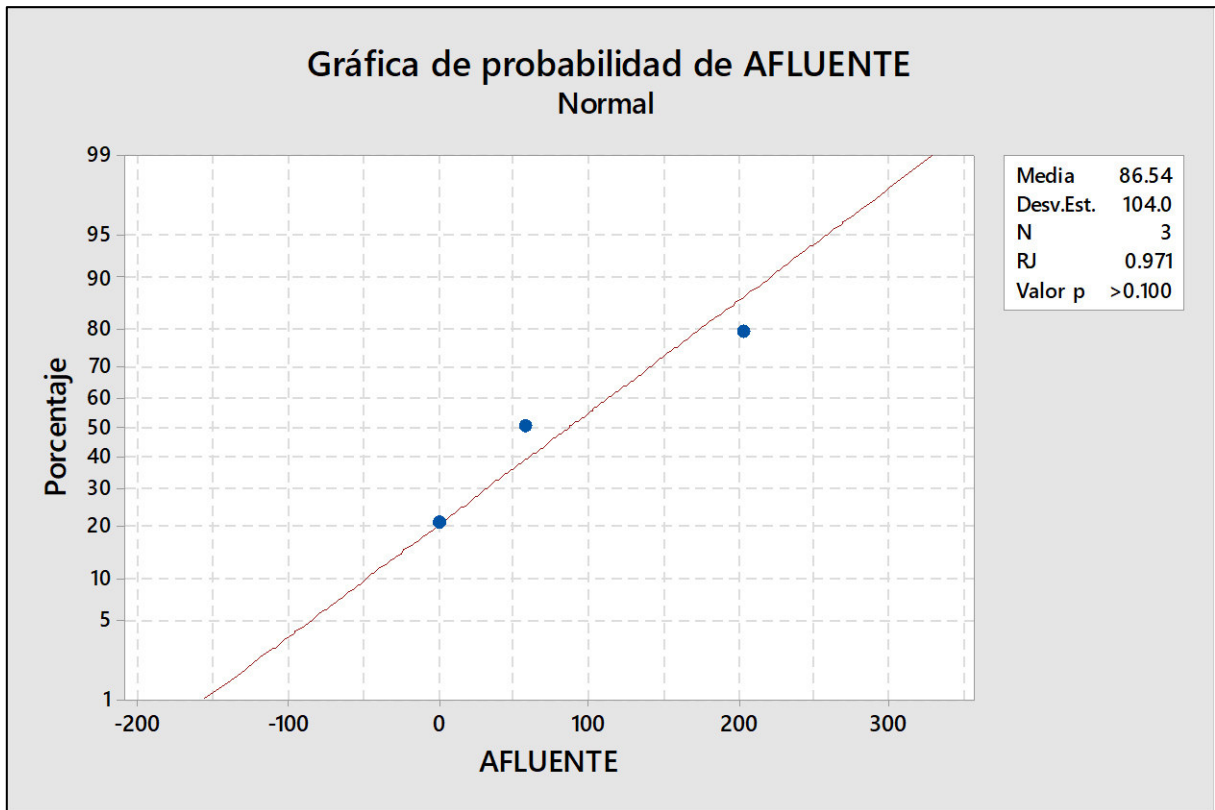
**Fuente:** Programa Minitab 18

**Gráfico N° 21:** Grafica de normalidad del Testigo para el parámetro DQO.

En la gráfica N°21 se observa que  $p$  es mayor a 0.100, el cual es mayor al nivel de significancia de 0.05, por lo que se acepta la  $H_0$  y se concluye que los datos del testigo para la Demanda química de oxígeno siguen una distribución normal.

### 3.4.4. Prueba de normalidad para la Demanda bioquímica de oxígeno

#### 3.4.4.1. Afluyente (Agua gris)



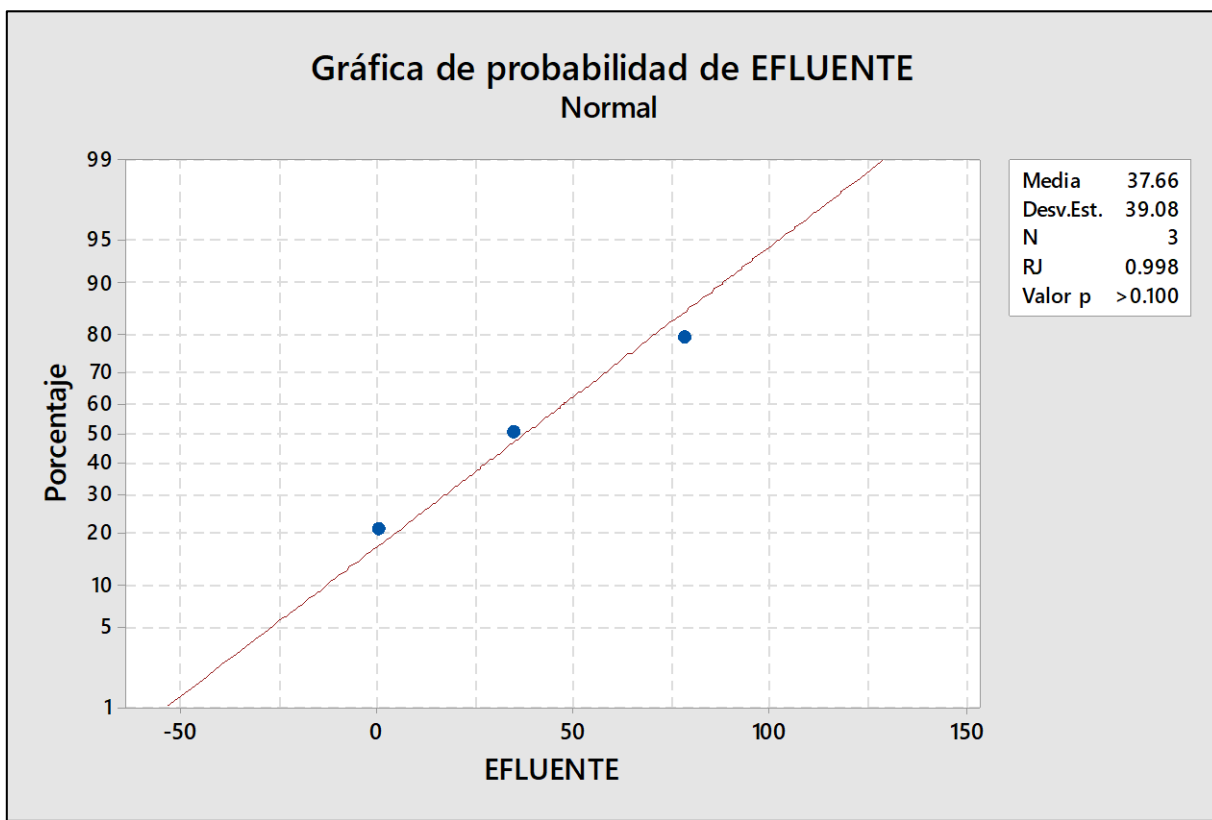
**Fuente:** Programa Minitab 18

**Gráfico N° 22:** Grafica de normalidad del Afluyente para el parámetro DBO5.

En la gráfica N°22 se observa que  $p$  es mayor a 0.100, el cual es mayor al nivel de significancia de 0.05, por lo que se acepta la  $H_0$  y se concluye que los datos del afluyente para la Demanda bioquímica de oxígeno siguen una distribución normal.



#### 3.4.4.2. Efluente (Salida del SAHL)

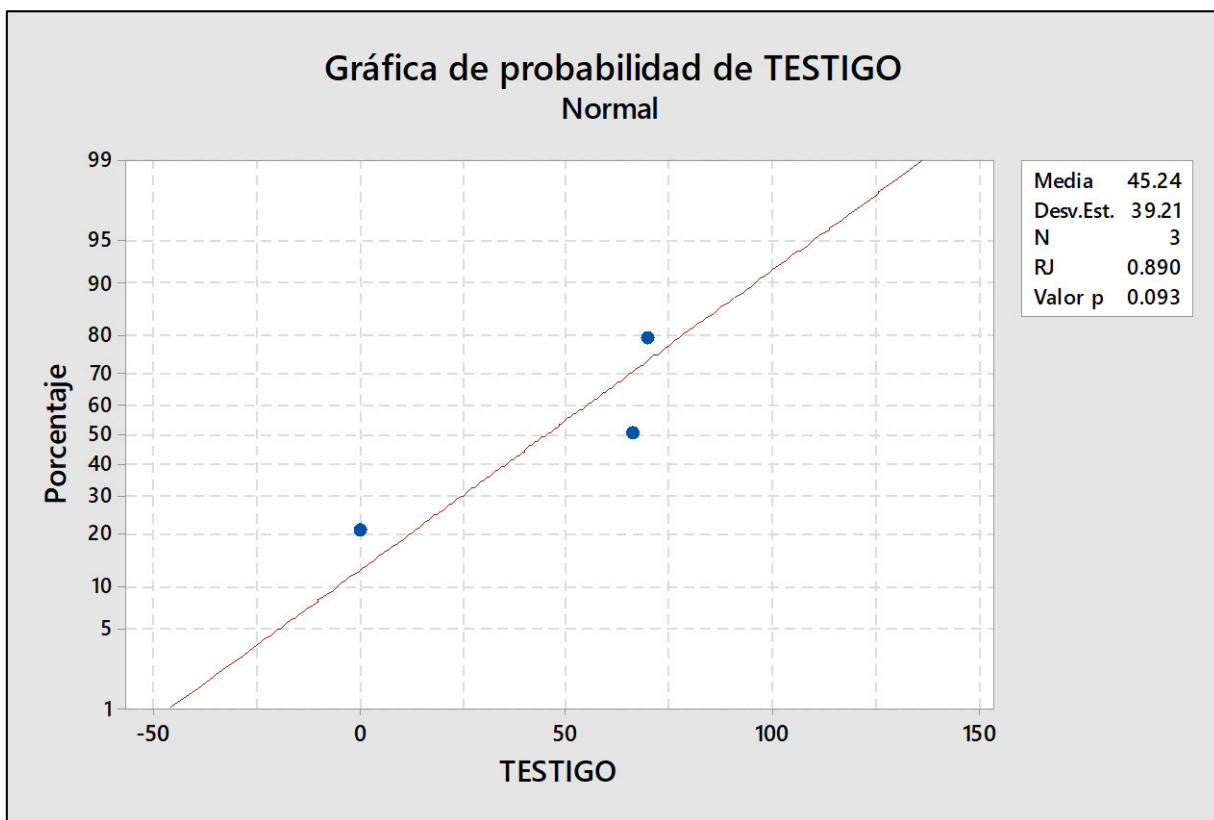


**Fuente:** Programa Minitab 18

**Gráfico N° 23:** Grafica de normalidad del Efluente para el parámetro DBO5.

En la gráfica N°23 se observa que  $p$  es mayor a 0.100, el cual es mayor al nivel de significancia de 0.05, por lo que se acepta la  $H_0$  y se concluye que los datos del efluente para la Demanda bioquímica de oxígeno siguen una distribución normal.

#### 3.4.4.3. Testigo (Salida del Testigo)



**Fuente:** Programa Minitab 18

**Gráfico N° 24:** Grafica de normalidad del Efluente para el parámetro DBO5.

En la gráfica N°24 se observa que  $p$  es mayor a 0.093, el cual es mayor al nivel de significancia de 0.05, por lo que se acepta la  $H_0$  y se concluye que los datos del efluente para la Demanda bioquímica de oxígeno siguen una distribución normal.

### 3.5. Prueba de hipótesis

Para la prueba de hipótesis se realizará mediante el cálculo estadístico t – student pareadas ya que este nos ayudara a determinar si las aguas grises son diferentes antes y después de haber aplicado el sistema biológico.

Se utilizará la hipótesis general planteada:

El Sistema acoplado de Humedal artificial y lombrifiltro es eficiente en el tratamiento de aguas grises de la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017.

La afirmación de la hipótesis general se realizará por cada parámetro calculando si existe eficiencia de remoción, la contrastación de la hipótesis se dará de la siguiente forma:

$H_0$ : La media del agua de salida es mayor que la del agua de entrada

$H_1$ : La media del agua de salida es menor que la del agua de entrada

Se usará un nivel de significancia de 0.1 ( $\alpha=0.1$ ), si el valor de p es menor o igual que el nivel de significancia se rechazará la hipótesis nula y se concluirá que la media del agua de salida es menor que la del agua de entra. En cambio, si el valor p es mayor que el nivel de significancia, se aceptara la hipótesis nula.

### 3.5.1. Prueba de T – student para Turbiedad

#### IC y Prueba T pareada: AGUA DE SALIDA, AGUA DE ENTRADA

##### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
AGUA DE SALIDA	3	24.2	6.5	3.7
AGUA DE ENTRADA	3	144.8	104.4	60.3

##### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 90% para la diferencia_μ
-120.6	109.7	63.3	-1.2

diferencia\_μ: media de (AGUA DE SALIDA - AGUA DE ENTRADA)

##### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia\_μ = 0

Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia\_μ < 0

Valor T	Valor p
-1.90	0.099

**Fuente:** Programa Minitab 18

Se puede observar que el valor p es 0.099, el cual es menor al nivel de significancia de 0.1, por lo que se rechaza la  $H_0$  y se concluye que el agua de salida es menor al agua de entrada, afirmando que el SAHL es eficiente en la reducción de Turbiedad.

### 3.5.2. Prueba de T – student para Solidos suspendidos Totales

#### IC y Prueba T pareada: AGUA DE SALIDA, AGUA DE ENTRADA

##### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
AGUA DE SALIDA	3	10.3	7.4	4.3
AGUA DE ENTRADA	3	244.3	163.8	94.6

##### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 90% para la diferencia_μ
-234.0	166.6	96.2	-52.6

*diferencia\_μ: media de (AGUA DE SALIDA - AGUA DE ENTRADA)*

##### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia\_μ = 0

Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia\_μ < 0

Valor T	Valor p
-2.43	0.068

**Fuente:** Programa Minitab 18

Se puede observar que el valor p es 0.068, el cual es menor al nivel de significancia de 0.1, por lo que se rechaza la  $H_0$  y se concluye que el agua de salida es menor al agua de entrada, afirmando que el SAHL es eficiente en la reducción de Solidos suspendidos totales.

### 3.5.3. Prueba T – student para la Demanda Química de Oxígeno

#### IC y Prueba T pareada: AGUA DE SALIDA, AGUA DE ENTRADA

##### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
AGUA DE SALIDA	3	178	117	68
AGUA DE ENTRADA	3	356	317	183

##### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 90% para la diferencia_μ
-177	318	184	169

diferencia\_μ: media de (AGUA DE SALIDA - AGUA DE ENTRADA)

##### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia\_μ = 0

Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia\_μ < 0

Valor T	Valor p
-0.97	0.218

**Fuente:** Programa Minitab 18

Se puede observar que el valor p es 0.218, el cual es mayor al nivel de significancia de 0.1, por lo que se acepta la  $H_0$  y se concluye que el agua de salida no es significativamente menor al agua de entrada, afirmando que el SAHL no es tan eficiente en la remoción de la Demanda química de oxígeno.

### 3.5.4. Prueba T – student para la Demanda Bioquímica de Oxígeno

#### IC y Prueba T pareada: AGUA DE SALIDA, AGUA DE ENTRADA

##### Estadísticas descriptivas

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media
AGUA DE SALIDA	3	37.7	39.1	22.6
AGUA DE ENTRADA	3	86.5	104.0	60.0

##### Estimación de la diferencia pareada

Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	Límite superior de 90% para la diferencia_μ
-48.9	102.9	59.4	63.1

*diferencia\_μ: media de (AGUA DE SALIDA - AGUA DE ENTRADA)*

##### Prueba

Hipótesis nula  $H_0$ : diferencia\_μ = 0  
Hipótesis alterna  $H_1$ : diferencia\_μ < 0

Valor T	Valor p
-0.82	0.249

**Fuente:** Programa Minitab 18

Se puede observar que el valor p es 0.249, el cual es mayor al nivel de significancia de 0.1, por lo que se acepta la  $H_0$  y se concluye que el agua de salida no es significativamente menor al agua de entrada, afirmando que el SAHL no es tan eficiente en la remoción de la Demanda bioquímica de oxígeno.

#### IV. DISCUSIÓN

- Los resultados obtenidos en la presente investigación con respecto al porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales en el sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro fue del 91%, siendo este mayor al obtenido por Gallego (s.f.) el cual fue del 40% con la especie *Typha latifolia*, por Tito (2015) con un 79.68% con la especie *Cyperus alternifolius*, por Minchola (2013) con un 84% con la especie *Typha angustifolia* y por Bravo (2016) con un 64.72% a 86.04% para aguas residuales domésticas en el que solo usaron el humedal artificial.
- El sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro para aguas grises obtuvo un porcentaje de remoción del 36% y 91% de los parámetros Demanda química de oxígeno y Sólidos suspendidos totales respectivamente usando la especie *Eichhornia Crassipes*, sin embargo, Valderrama (1996) solo con el uso de humedal y utilizando la misma especie solo obtuvo un 18% y 56% respectivamente para aguas agroindustriales.
- Se pudo remover solo el 28% de la Demanda bioquímica de oxígeno con la especie *Eichhornia Crassipes*, no obstante Caballero (2016) obtuvo mayor porcentaje de remoción con la especie *Rhizophora Mangle* (Mangle Rojo) en un Humedal artificial de flujo vertical.
- Según Mena (2014) en el parámetro de sólidos suspendidos totales se obtuvo una remoción del 40% en un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal (HAFSSH) para aguas residuales domésticas, el cual es menor al obtenido en el presente trabajo con un 91%.
- Los resultados obtenidos en García (2012) con respecto a la remoción de turbiedad con la especie *Eichhornia Crassipes* fue del 24.85%, siendo esta menor a la obtenida en la presente investigación lo cual fue del 74%.de las aguas residuales.
- En el trabajo de Torres, Pineda y Magno (2015) el porcentaje de remoción de turbiedad fue del 77% en un humedal artificial (FLS) con la especie *Cyperus Papyrus*; mientras que el sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro, la remoción fue de 74% con la especie *Eichhornia Crassipes*.
- Como resultados finales de la concentración se obtuvo que para DBO5 fue de 0.095 mg/l y para SST 2 mg/l con la especie *Eichhornia Crassipes*, mientras que para



Villaroel (2005) solo obtuvo 6.88mg/l para DBO5 y 40 mg/l para SST con la especie *Typha angustifolia* utilizando solo el humedal artificial.

- El sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro logro un porcentaje de remoción del 36% de DQO y 28% de DBO5 para aguas grises después de 20 días de iniciada la experimentación, sin embargo, Manrique y Piñeros (2016) solo usando el lombrifiltro logro un porcentaje de remoción de 79.56% de DQO y en el parámetro DBO5 no hubo reducción alguna al cabo de 21 días de iniciada la experimentación para aguas residuales de la industria láctea.
- La eficiencia de remoción de contaminantes en el sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro es del 57%, en cambio Vicente (2016) en el biofiltro o lombrifiltro que utilizo para tratar aguas residuales domésticas, el cual usa los mismos lechos filtrantes que los empleados en el SAHL solo tuvo una eficiencia del 53.53% aun así usando un pretratamiento.
- El Sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro obtuvo una eficiencia de remoción de carga orgánica del 32% y Ramón (2015) logro una eficiencia de remoción del 92.06% usando en el lombrifiltro los mismos lechos filtrantes con la diferencia que aumento una capa más de aserrín con lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) y una capa más de carbón activado.
- Se pudo remover un porcentaje de 36% de DQO, 28% de DBO5 y 74% de Turbiedad en el Sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro, por el contrario en Coronel (2015) usando el lombrifiltro logro un porcentaje de remoción de 51.69% de DQO, 84.38 % DBO5 y 77.69% de Turbiedad ya que antes de introducir el sustrato de humus se realizó un tiempo de adaptación de la lombriz *Eisenia foetida* con el agua residual domestica por un periodo de 7 días.

## V. CONCLUSIONES

- El sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro es eficiente en la remoción de las propiedades fisicoquímicas de las aguas grises, teniendo mayor eficiencia de remoción en los parámetros de Turbiedad y Solidos suspendidos Totales y menor en los parámetros de Demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno.
- El porcentaje de remoción de contaminantes en el sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro fue del 74% de Turbiedad, 91% de Solidos suspendidos totales, 36% de Demanda química de oxígeno y 28% de la Demanda bioquímica de oxígeno.
- Los parámetros que cumplieron con los Límites Máximos Permisibles fueron las de Solidos suspendidos totales (SST), Demanda química de oxígeno (DQO) y la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), en cambio en el parámetro Turbiedad sobrepaso el valor dado por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1998) de 5 UNT.
- Los parámetros de DQO y DBO5 solo tuvieron una eficiencia de remoción de 36% y 28% respectivamente, lo que se rechazaría la hipótesis específica de que habría un 50% de remoción en los dos parámetros mencionados.
- Las lombrices presentes en el lombrifiltro siguen vivas lo que sería un indicador que el agua saliente del sistema está siendo tratada eficientemente.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Realizar la medición de los siguientes parámetros: sulfuros, nitratos y fosfatos.
- Realizar más de 3 muestreos para poder obtener mejores resultados.
- Lavar los sustratos que se van a utilizar antes de colocarlos en el SAHL ya que estos podrían alterar los resultados.
- Enjuagar primero con agua destilada las plantas recolectadas antes de su uso en el humedal, para retirar los restos provenientes de sus lugares de extracción.
- Usar un pretratamiento (Filtro de grava, Trampa de grasas, etc.) para el SAHL para tener mejores resultados en la remoción de los contaminantes.
- Añadir una capa más de carbón activado al lombrifiltro para tener mayor eficiencia de remoción de contaminantes y ayudara a mejorar los resultados.

## VII. REFERENCIAS

**ALLEN**, Laura. Manual de diseño para manejo de aguas grises para riego exterior. 2ª. ed. 2015.

Disponible en: <https://greywateraction.org/wp-content/uploads/.../finalGWmanual-esp-5-29-15.pdf>

**AQUAPERÚ**. Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). (s. f.)

Disponible en: [http://www.aquaperu.net/planta\\_de\\_tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales.htm](http://www.aquaperu.net/planta_de_tratamiento_de_aguas_residuales.htm)

**ARANGO** Laws, Jessica E. Evaluación ambiental del Sistema Toha en la remoción de Salmonella en aguas servidas domésticas. Tesis (Magister en gestión y planificación ambiental). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Departamento de Postgrado y Postítulo, 2003,11-12 pp.

**ASENJO** López, Cristina. Tratamiento de aguas grises. Blog. Aqualia, 2015. [Fecha de consulta: 10 de Septiembre 2017]

Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/cristina-asenjo-lopez/tratamiento-aguas-grises>

**AUTORIDAD** Nacional del Agua (ANA). El agua en cifras. 2014

Disponible en: [http://192.155.93.247/culturaagua/Docs/0/files/agua\\_en\\_cifras.pdf](http://192.155.93.247/culturaagua/Docs/0/files/agua_en_cifras.pdf)

**BIOFILTRO** Dinámico Aeróbico: Sistema Tohá. Manantial [en línea].2000, no 40. [Fecha de consulta: 21 Mayo 2017]

Disponible en: <http://www.manantial.cl/dinamicos/descargas/cultivo-fijo-ficha-lombrifiltro.pdf>

**BRAVO**, Prado, Fiorella R. Remoción de nutrientes con Eichhornia Crassipes para reducir la eutrofización en el humedal del Parque Ecológico Municipal Laguna El Mirador en Ventanilla – Callao 2016. Tesis (Título de Ingeniera Ambiental). Lima, Perú. Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Ambiental, 2016.

**CABALLERO** Peluffo, Jhonatan y Osorio Fernandez, Reynaldo. Tratamiento de aguas residuales usando *Rhizophora Mangle* (Mangle Rojo) para la remoción de nutrientes y materia orgánica en un Humedal artificial de flujo vertical. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Cartagena de Indias, Colombia. Universidad de Cartagena, Programa de Ingeniería Civil, 2016.

**CORONEL** Pazmiño, Nancy P. Diseño e implementación a escala de un biofiltro Tohá en la Espoch para la depuración de aguas residuales domésticas procedentes de la comunidad Langos la Nube. Tesis (Título de Ingeniería en Biotecnología Ambiental). Riobamba, Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, 2015.

**CONSEJO** Nacional de Ciencia y Tecnología Vicepresidencia de la República de Nicaragua (CONICYT). Biofiltros Domiciliars: Filtros biológicos para la remoción de nutrientes de aguas grises.

Disponible en: [ecotec.unam.mx/Ecotec/wp-content/uploads/Biofiltros-Domiciliars.pdf](http://ecotec.unam.mx/Ecotec/wp-content/uploads/Biofiltros-Domiciliars.pdf)

**CONSULTA** de plantas. *Eichhornia crassipes* o jacinto de agua.

Disponible en: <http://www.consultaplantas.com/index.php/plantas-por-nombre/plantas-de-la-d-a-la-l/314-cuidados-de-la-planta-eichhornia-crassipes-o-jacinto-de-agua>

**CORONEL** Castro, Elver. Eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia creassipes*) y lenteja de agua (*Lemna minor*) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas – Chachapoyas, 2015. Tesis (Bachiller de Ingeniero Ambiental). Lima, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, 2015.

**CRESPO**, Raúl R., Romero, Olga L. y González, María E. Producción de humus de lombriz en Cuba. Aplicaciones y Resultados. Observatorio de la Economía Latinoamericana. (169): 112-114, 2002.

**DANE**. Sistema de Información del Medio Ambiente. (s.f.)

Disponible en:  
[https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/solidos\\_suspension.pdf](https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/Sima/solidos_suspension.pdf)

**DISEÑO** hidráulico de un humedal artificial a nivel laboratorio [et. al]. Chiapas, México. Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, División de Posgrado e Investigación.

**DELGADILLO**, O., Camacho, A. Fernando, L. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba: Centro agua, 2010. pp. 7-10.

ISBN: 978-99954-766-2-5

**DECRETO** Supremo N° 003-2010-MINAM. Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domestica o Municipales.

**EL** agua es un bien escaso que el Perú no sabe administrar. Rpp Noticias. 22 de Marzo 2017. <<http://rpp.pe/peru/actualidad/la-falta-de-agua-potable-afecta-a-8-millones-de-peruanos-noticia-998969>>

**FERNANDEZ** González, Jesús. Humedales artificiales para depuración. Fundación Global Nature. pp. 80-81.

Disponible en: <https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/.../Capítulos%206.pdf>

**FRANCO** Alvarado, María V. Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación a caso en Chile. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Santiago de Chile, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2007.

**GALLEGO** García, Laura y **LASSOVSKY** Leon A. Humedal de tratamiento en flotación (HTF) con mayor cantidad de biofilm y mejor canalización hidráulica”. Sevilla, España: Lotus Filter Systems, s.f. [fecha de consulta: 10 Septiembre 2017]

Disponible en:  
<https://www.aguasresiduales.info/descargar/.../7n9dQZFb8bhWwXFcTRu3FIDq.pdf>

**GARCIA** Trujillo, Zarela M. Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales

domésticas. Tesis (Título de Ingeniero Sanitario). Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental, 2012.

**GÓMEZ**, R. Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales. 2008.

**HERNANDEZ** Borquez, Yessica P. Anteproyecto de construcción para aplicación de lombricultura al tratamiento de Planta Llau – Llau de Salmonera Invertec S.A. Tesis (Ingeniero en Construcción). Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, 2005.

**INFOJARDIN**. Jacinto de agua, Camalote, Camalotes, Lampazo, Violeta de agua, Buchón, Taruya “*Eichhornia crassipes*”.

Disponible en: <http://fichas.infojardin.com/acuaticas/eichhornia-crassipes-jacinto-de-agua-camalote-camalotes.htm>

**LARA**, Jaime. Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales.

Disponible en: <https://sites.google.com/site/humedalesartificiales/capitulo1>

**LENNTech**. Turbidez. (s.f.)

Disponible en: <http://www.lenntech.es/turbidez.htm>

**LOPEZ** Salazar, Jonathan. Tratamiento de aguas residuales: Aplicación de humedales artificiales. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). México D. F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, 2015.

**LÓPEZ** Hernández, Jazmín A. Detección de microorganismos del tracto digestivo de la lombriz roja californiana por PCR. Tesis (Título de Ingeniero Biotecnológico). México D.F. Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, 2006, 2p.

**LLAGAS** Chafloque, Wilmer A. y **GUADALUPE** Gomez E. Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*. 2016, vol. 15, no. 17, pág. 85-96.

ISSN: 1561-0888

**MANRIQUE**, Erika y **PIÑEROS**, Jennifer. Evaluación del sistema de depuración biológica a partir de lombrices de tierra (*Eisenia Foetida*) en aguas residuales procedentes de Industrias Lácteas a nivel laboratorio. Tesis (Título de Ingeniero Químico). Bogotá, Colombia. Fundación Universidad de América, Facultad de Ingenierías, 2016, p.15.

**MARN**. Humedales artificiales.

Disponible en:  
[agua.marn.gob.sv/Documentos/TallerAguas2015/Humedales\\_CEDEx\\_v4.pdf](http://agua.marn.gob.sv/Documentos/TallerAguas2015/Humedales_CEDEx_v4.pdf)

**MENA** Cabrera, Paolo A. Evaluación de la eficiencia de tratamiento de aguas residuales domésticas, implementando un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HAFSSH) en el Colegio Confamiliar Siglo XXI, sede Campestre Corregimiento de San Fernando, Municipio de Pasto, Colombia. Tesis (Magíster en Ciencias Ambientales). Buenos aires, Argentina. Universidad de Bueno Aires, Facultad de ciencias exactas y naturales, 2014.

**MINCHOLA**, J.; Gonzáles, F. (2013). Humedales artificiales en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la mina Barrick. Editorial: Arnaldoa. Pág. 433 – 444. Lima, Perú. ISSN: 1815 – 8242

**MINISTERIO** de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de aguas residuales Domestica o Municipales.

**NAVARRO**, Maria O. Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días, incubación y electrometría. República de Colombia: IDEAM, 2007.

Disponible en:  
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Bioqu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno.pdf/ca6e1594-4217-4aa3-9627-d60e5c077dfa>



**NORMA** Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

**ORGANIZACIÓN** Mundial de la Salud (OMS). Guía para la calidad del agua potable. 1º Apéndice a la 3ra edición, Vol. 1. pp. 189.

ISBN: 9241546964

**QUÍMICA** General. Definición de pH. (s. f.)

Disponible en: <http://quimica1general1.blogspot.pe/2008/06/el-qumico-dans-slp-stirensen.html>

**RAMÓN**, Jacipt A., **LEÓN**, José A. y **CASTILLO**, Nelson, (2015). Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie *Eisenia foetida*. *Revista Mutis* [en línea]. Enero-Julio 2015, vol. 5, no. 1. [Fecha de consulta: 18 Mayo 2017].

Disponible en:

<https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1018>

ISSN: 2256-1498

**RODRÍGUEZ**, Carlos H. Demanda Química de Oxígeno por reflujo cerrado y volumetría. República de Colombia: IDEAM, 2007.

Disponible en:

<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno.pdf/20030922-4f81-4e8f-841c-c124b9ab5adb>

**SARAR**. Filtros de aguas grises. < <http://ecotec.unam.mx/Ecotec/wp-content/uploads/Ficha-Informativa-de-Filtros-de-Aguas-Grises.pdf>>

**SARAR** transformación SC. Biofiltro La Jardinera que filtra las aguas grises para reciclarlas.

Disponible en: [ecotec.unam.mx/Ecotec/wp-content/uploads/Gu--a-Explicativa-del-Biofiltro.pdf](http://ecotec.unam.mx/Ecotec/wp-content/uploads/Gu--a-Explicativa-del-Biofiltro.pdf)

**TABLA** de alimentos para las lombrices. Terra: Ecología práctica. s.f. <  
[http://www.terra.org/data/Tablacomida\\_vermicasa\\_es.pdf](http://www.terra.org/data/Tablacomida_vermicasa_es.pdf)>

**TITO** Cantoral, Rolando. Tratamiento de aguas residuales grises domesticas con la especie Paraguitas *Cyperus alternifolius* en Humedales artificiales, Urbanización Zárate – San Juan de Lurigancho 2015. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima, Perú. Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería Ambiental, 2015.

**TORRES**, J.; Pineda, R.; Magno, J. (2015). Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante humedales artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis*, en Carapongo – Lurigancho. Universidad Peruana Unión. Revista: Ciencia, Tecnología y desarrollo. Vol. 1, Número 2. Lima, Perú. ISSN: 2313 – 7991

**VALDERRAMA**, Luz T. Uso de dos especies de macrófitas acuáticas *Limnobium laevigatum* y *Eichhornia Crassipes* para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales. *Revista Vniversitas scientiarum* (3): 1-2, Diciembre 1996.

**VICENTE** Reyes, J. Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en biofiltros para el tratamiento de aguas residuales. *Enfoque UTE* [en línea]. Septiembre 2016, vol. 7, no. 3. [Fecha de consulta: 16 Mayo 2017].

Disponible en:

<http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/index.php/revista/article/view/104>

ISSN: 1390-6542

**VILLARROEL**, C. (2005). Tratamiento terciario del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales El Cortijo para uso agrícola con humedales construidos de flujo superficial. Universidad Nacional de Trujillo. Programa doctoral en medio ambiente. Lima, Perú.

## ANEXOS

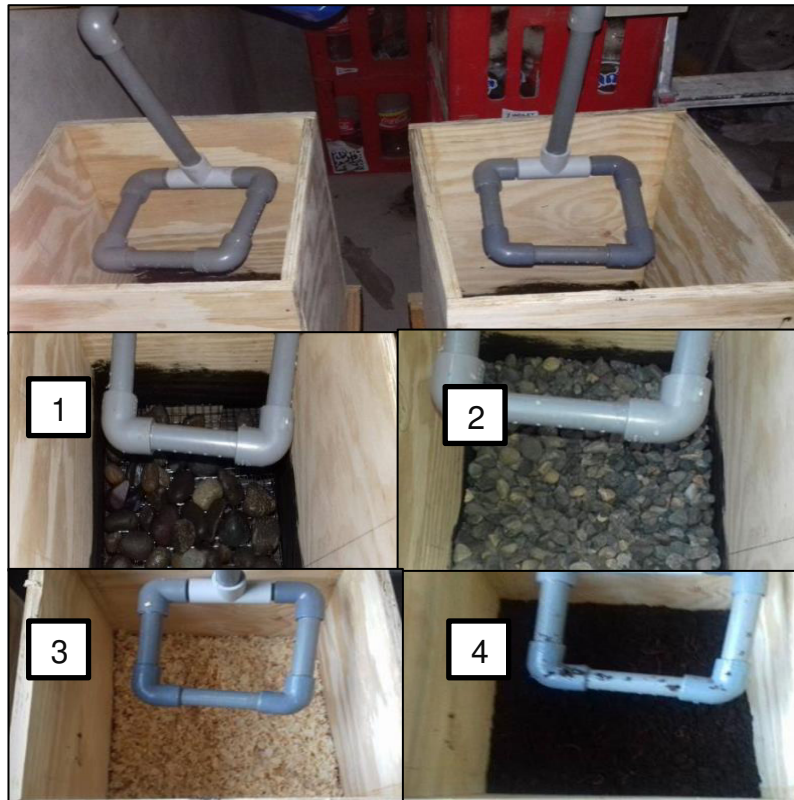
### ✓ IMÁGENES



**Figura N°1:** Construcción del soporte del humedal y el lombrifiltro



**Figura N°2:** Impermeabilizando el humedal



**Figura N°3:** Lechos filtrantes del Lombrifiltro



**Figura N°4:** Especies a utilizar en el sistema (Lombriz *Eisenia foetida*, Jacinto de agua *Eichhornia Crassipes*)



**Figura N°5:** Sistema terminado

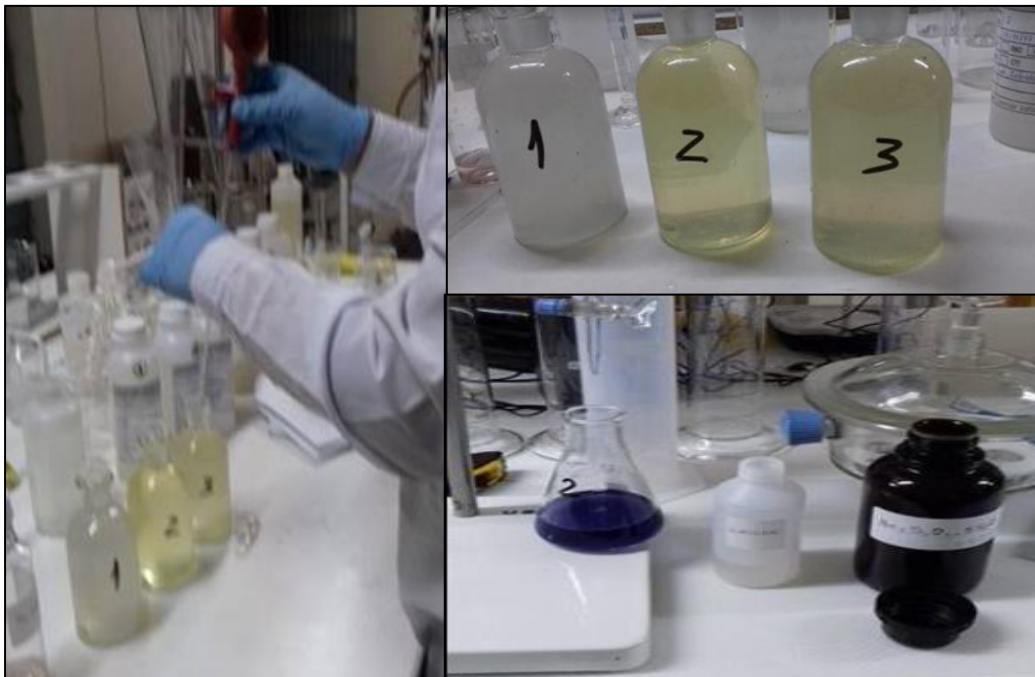




**Figura N°6:** Análisis de pH Y Temperatura



**Figura N°7:** Análisis de Turbiedad



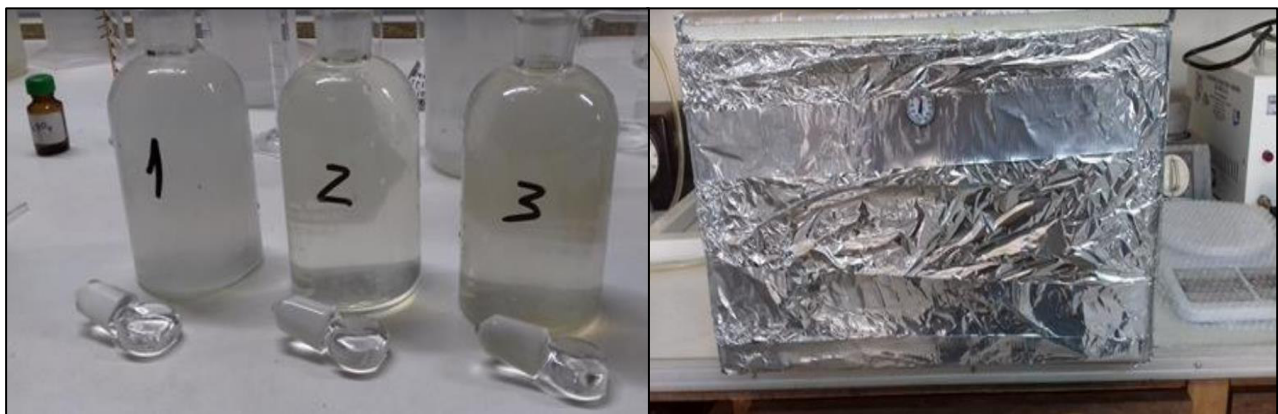
**Figura N°8:** Análisis de Oxígeno Disuelto



**Figura N°9:** Análisis de Solidos suspendidos Totales



**Figura N°10:** Análisis de la Demanda Química de Oxígeno



**Figura N°11:** Análisis de la Demanda Bioquímica de Oxígeno





**Figura N°12:** Comparación del afluente con el efluente y el testigo.

✓ INSTRUMENTOS

### INSTRUMENTO 1: REGISTRO DE DATOS EN CAMPO

Nombre del PTAR:				
<b>AFLUENTE</b>				
Denominación del punto de monitoreo:				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal
Eventuales observaciones al punto de monitoreo:				
Características del agua residual:				
<b>EFLUENTE</b>				
Denominación del punto de monitoreo:				
Fecha	Hora	pH	Temperatura	Caudal
Eventuales observaciones al punto de monitoreo:				
Características del agua residual:				

Fuente: Protocolo de monitoreo D. 003-2010 Ministerio de Vivienda

## INSTRUMENTO 2: ETIQUETA DE LOS FRASCOS

<b>Nombre de la PTAR:</b>	
<b>Denominación del punto de monitoreo (afluente o efluente):</b>	
N°. De muestra (Orden de toma de muestra)	
Fecha y hora	
Ensayo físico-químico	<input type="checkbox"/> DBO <input type="checkbox"/> DQO <input type="checkbox"/> SST <input type="checkbox"/> AyG
Ensayo microbiológico	<input type="checkbox"/> CTT
Otros parámetros	
Otros parámetros	
Preservación	
Operador del muestreo:	

Fuente: Protocolo de monitoreo D. 003-2010 Ministerio de Vivienda

### INSTRUMENTO 3: CADENA DE CUSTODIA

Nombre de la PTAR												
Muestra N°.	Afluente	Efluente	Fecha	Hora de toma de	Tipo de frasco	Volumen	Reactivos preservación	Parametro a ser medido				Observaciones
								DBO5	DQO	SST	AyG	
Hora de entrega al medio de transporte												

Responsable de la PTAR			Operador del muestreo			Custodio de la muestra			Recepción de laboratorio				
Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Hora	Fecha

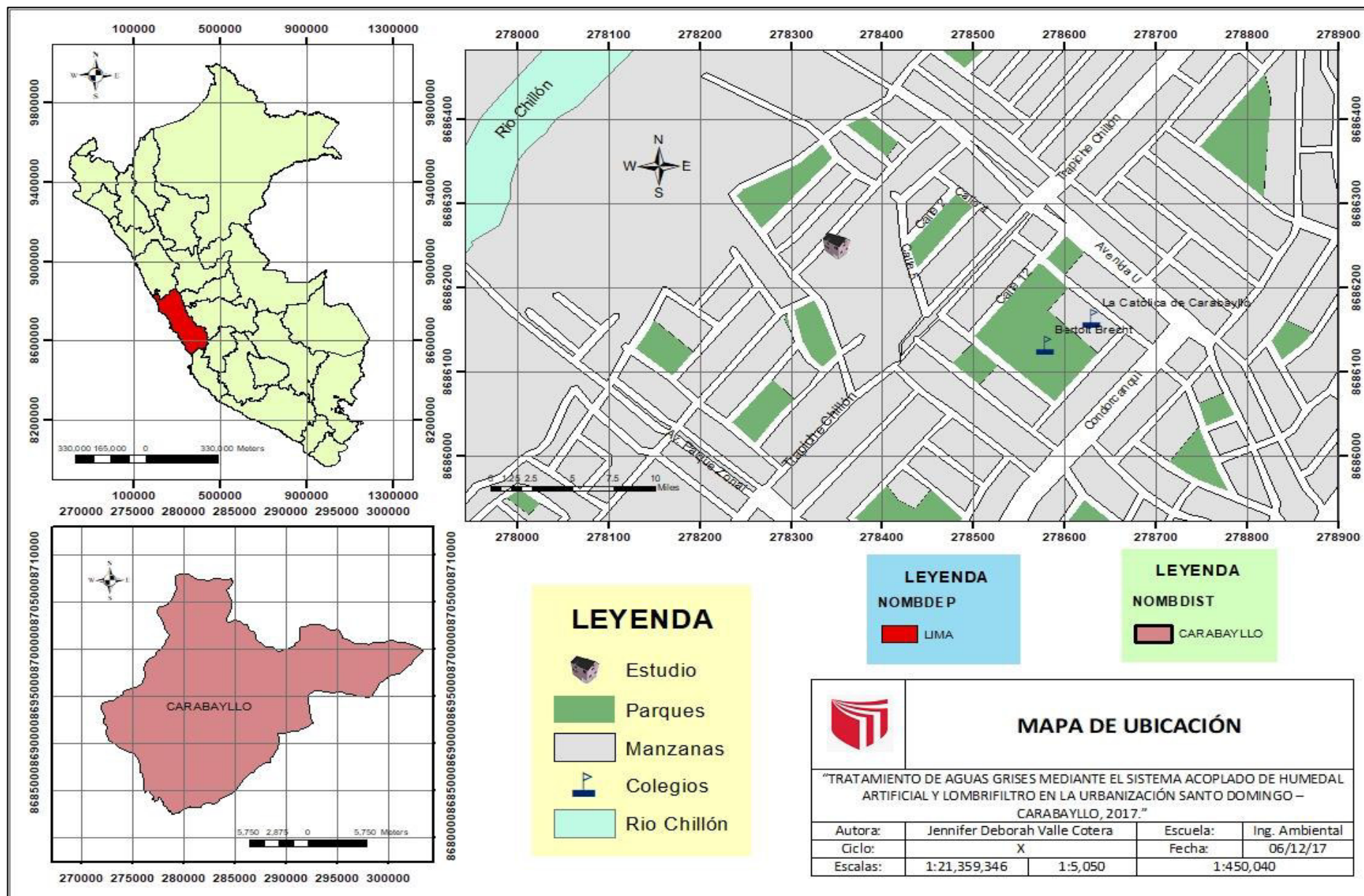
Fuente: Protocolo de monitoreo D. 003-2010 Ministerio de Vivienda

#### INSTRUMENTO 4: REPORTE DE RESULTADOS FINALES POR MUESTRA RECOLECTADA

Nombre del PTAR									
N° de Muestra	1°			2°			3°		
Fecha									
Parametros	Afluente	Efluente	% Remoción	Afluente	Efluente	% Remoción	Afluente	Efluente	% Remoción
DBO5									
DQO									
SST									
Turbiedad									
Responsable de la PTAR									

Fuente: Elaboración propia

✓ MAPA DE UBICACIÓN



✓ MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	
¿En qué medida el sistema acoplado de Humedal artificial y lombrifiltro es eficiente en el tratamiento de aguas grises de la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017?	Determinar la eficiencia del sistema acoplado de Humedal artificial y lombrifiltro en el tratamiento de aguas grises provenientes de la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017.	El Sistema acoplado de Humedal artificial y lombrifiltro es eficiente en el tratamiento de aguas grises de la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017.	Sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro	Caudal
				Tiempo de retención hidráulica
				Área superficial
				Sustrato
				Vegetación
				Lombrices
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE	
¿Cuáles son los valores de las propiedades fisicoquímicas de las aguas grises a la entrada y salida del sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro en la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017?	Determinar los valores de las propiedades fisicoquímicas de las aguas grises antes y después de aplicar el sistema acoplado de Humedal artificial y lombrifiltro en la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo.	Los valores de las propiedades fisicoquímicas de las aguas de entrada del sistema propuesto son más altos que los valores de las aguas de salida.	Tratamiento de las aguas grises	Turbiedad
				DBO5
¿Cuál es el porcentaje de remoción de contaminantes que se dará a las aguas grises al aplicar sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro en la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017?	Determinar el porcentaje de remoción de contaminantes al aplicar el sistema acoplado de Humedal artificial y lombrifiltro en el tratamiento de las aguas grises de la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017.	El Sistema acoplado de Humedal artificial y lombrifiltro tendrá un porcentaje de remoción del 50% de DQO y DBO de las aguas grises provenientes de la Urbanización Santo Domingo – Carabayllo, 2017.		DQO
				SST
¿Las aguas tratadas en el sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro cumplen con los límites máximos permisibles que establece la normativa ambiental?	Determinar si las aguas tratadas en el sistema acoplado de humedal artificial y lombrifiltro cumplen con los límites máximos permisibles que establece la normativa ambiental.	Las aguas provenientes al aplicar el Sistema acoplado de Humedal artificial y lombrifiltro cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental.		Concentración de contaminantes
				Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

Fuente: Elaboración propia



## VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y nombres: Diana Katherine Sanchez Nuñez  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Ing. Ambiental - GRUPO - CORELIMA Nombre del instrumento motivo de evaluación:  
 1.3. Autora del instrumento: Jenny Deborah Valle Cordera

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible.											X		
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos											X		
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.											X		
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.											X		
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.											X		
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis.											X		
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.											X		
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.											X		
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.											X		
10. PERTENENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico.											X		

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación. ☒
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación. ☐

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

90

Lima, de junio del 2017

Diana Katherine Sanchez Nuñez  
 Ing. DIANA KATHERINE SANCHEZ NUÑEZ  
 CIP 184039

## VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y nombres: Jorge Victor Velasquez Escobedo  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Nombre del instrumento motivo de evaluación:  
Ing. Ambiental - GRUPO - GORE LIMA  
 1.3. Autora del instrumento: Jennifer Deborah Valle Cotera

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible.	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos										X			
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.										X			
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.										X			
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.										X			
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis.										X			
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.										X			
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.										X			
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.										X			
10. PERTENENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico.										X			

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación.
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación.

X

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

85

Lima, de junio del 2017

Ing. Jorge Victor Velasquez Escobedo  
 CIP N° 1845 90

## VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

### I. DATOS GENERALES

- 1.1. Apellidos y nombres: Valle Cotera Miguel Angel  
 1.2. Cargo e institución donde labora: Nombre del instrumento motivo de evaluación:  
Fig. Agronomo - FAENAGRO  
 1.3. Autora del instrumento: Lennyel Deborah Valle Cotera

### II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	INACEPTABLE						MINIMAMENTE ACEPTABLE			ACEPTABLE			
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje comprensible.	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
2. OBJETIVIDAD	Está adecuado a las leyes y principios científicos												X	
3. ACTUALIDAD	Está adecuado a los objetivos y las necesidades reales de la investigación.												X	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.												X	
5. SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales.												X	
6. INTENCIONALIDAD	Esta adecuado para valorar las variables de la hipótesis.													X
7. CONSISTENCIA	Se respalda en fundamentos técnicos y/o científicos.												X	
8. COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores.												X	
9. METODOLOGÍA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis.													X
10. PERTENENCIA	El instrumento muestra la relación entre los componentes de la investigación y su adecuación al método científico.												X	

### III. OPINIÓN DE APLICABILIDAD

- El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación.
- El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación.

X

### IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN

96.5

Lima, de junio del 2017

Miguel A. Valle Cotera  
 Ing. Miguel A. Valle Cotera.  
 CIP. 187126





INSPECTORATE

Registro N°LE - 031

Pág. 2 / 3

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 103059L/17-MA**

## RESULTADOS DE ANÁLISIS

Estación de Muestreo	1	2	3	4	5	6
Fecha de Muestreo	2017-10-18	2017-10-18	2017-10-18	2017-10-18	2017-10-18	2017-10-18
Hora de Muestreo	06:42	06:45	06:50	06:52	06:55	06:58
Código de Laboratorio	10411	10411	10411	10411	10411	10411
Matriz	00001	00002	00003	00004	00005	00006
Ensayo	ARD	ARD	ARD	ARD	ARD	ARD
Unidad	L.C.	L.D.				
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O <sub>2</sub>	2.0	1.0	57.7	78.1	68.8
pH	Unidad de pH		7.6 (')	7.2 (')		7.4 (')
Temperatura (°C)	°C		21.0	21.0		21.0
Turbidez	UNT	0.1	0.07	61.6	31.6	45.4
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	3.0	1.3	74.0	67.0	22.0
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O <sub>2</sub>	2.0	1.0	257.1	300.3	243.4

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C.

Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada

No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

rate Inspector. <"valor" significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado. Inspectorate

>"valor" significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.

productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio.

Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

ate Inspectorate Inspectorate

## RESULTADOS DE LOS ANALISIS





**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 031**



**INACAL**  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

**INSPECTORATE**

Registro N° LE - 031

Pág. 2 / 3

**INFORME DE ENSAYO CON VALOR OFICIAL No. 103585L/17-MA**

**RESULTADOS DE ANÁLISIS**

Estación de Muestreo

Fecha de Muestreo

Hora de Muestreo

Código de Laboratorio

Matriz

Ensayo	Unidad	L.C.	L.D.	2017-10-30	2017-10-30	2017-10-30	2017-10-30	2017-10-30	2017-10-30
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O <sub>2</sub>	2.0	1.0	201.9	65.9	34.8			
pH	Unidad de pH			7.6 (°)	7.7 (°)	7.6 (°)			
Temperatura (°C)	°C			21.0	21.0	21.0			
Turbidez	UNT	0.1	0.07	262.0	102.0	19.5			
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	3.0	1.3	276.0	90.0	23.0			
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O <sub>2</sub>	2.0	1.0	710.2	301.5	168.0			

Este informe no podrá ser reproducido parcialmente sin autorización de Inspectorate Services Perú S.A.C. Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada.

No deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

<Valor> significa no cuantificable inferior al límite de cuantificación indicado.

>Valor> significa no cuantificable superior al límite máximo de cuantificación indicado, cuando sea aplicable.

A excepción de los productos perecibles los tiempos de custodia dependerán del laboratorio que realice el análisis.

Este tiempo variará desde 7 días hasta 3 meses como máximo.

Av. Elmer Faucett N° 444 Callao - Perú / Central: (511) 613-8080 Fax : (511) 628-9016

www.inspectorate.com.pe



## LC INGENIERÍA CONSULTORA Y ASESORÍA DEL PERÚ S.A.C.

R.U.C. N° 20552341679

FABRICACIÓN - MANTENIMIENTO - REPARACIÓN - METALMECÁNICA  
ELECTRICIDAD - ELECTRÓNICA  
LAB. QUÍMICO - LAB. METALÚRGICO  
MONITOREOS AMBIENTALES - ARTESANÍA  
COMPRA - VENTA DE EQUIPOS Y ACCESORIOS  
IMPORTADOR - EXPORTADOR



### CERTIFICADO

La empresa LC ICA DEL PERU SAC extiende el presente certificado a la alumna Valle Coterá Jennifer Deborah con código N° 6700158589, de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Cesar Vallejo, quien realizó el desarrollo de investigación de tesis en el laboratorio de investigación de la empresa, cuyos resultados fueron evaluados por profesionales con amplia experiencia laboral en reconocidas empresas de Lima, en apoyo académico, manifiestan que los resultados son estrictamente verídicos los que no constituyen plagio los cuales fueron evaluados utilizando métodos nacionales como internacionales cumpliendo las normas vigentes.

Por lo tanto, se extiende este certificado para los fines que crea conveniente el interesado.

San Martín de Porres, 03 de Diciembre del 2017

Ing. Químico: Chris Lisset Luis Chiroque

QUÍMICO: Nely Trejo Domínguez

CIP: 153976

Profesional Titulado: UNMSM

  
.....  
**LC ICA DEL PERÚ S.A.C.**  
*Luis Fernando Mendoza Apolaya*  
GERENTE